

INOVASI, MATERIAL DAN EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN RAYA

PENULIS :

- Milawaty Waris
- Arnetha Raintung
- Ramon Charles Rumambi
- Margaretha Yuneta
- Asep Suhana
- Ahmad Utanaka
- Annur Ma'rif
- Muhammad Djaya Bakri
- Wahyu Satyaning Budhi
- Arqam Laya
- Yuliyanti Kadir



INOVASI, MATERIAL DAN EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN RAYA

**Milawaty Waris
Arnetha Raintung
Ramon Charles Rumambi
Margaretha Yuneta
Asep Suhana
Ahmad Utanaka
Annur Ma'ruf
Muhammad Djaya Bakri
Wahyu Satyaning Budhi
Arqam Laya
Yuliyanti Kadir**



GET PRESS INDONESIA

INOVASI, MATERIAL DAN EVALUASI KINERJA PERKERASAN JALAN RAYA

Penulis :

Milawaty Waris
Arnetha Raintung
Ramon Charles Rumambi
Margaretha Yuneta
Asep Suhana
Ahmad Utanaka
Annur Ma'ruf
Muhammad Djaya Bakri
Wahyu Satyaning Budhi
Arqam Laya
Yuliyanti Kadir

ISBN : 978-634-255-527-9

Editor : Ari Yanto., M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni., S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Inovasi, Material Dan Evaluasi Kinerja Perkerasan Jalan Raya ini.

Buku Ini Membahas Perkembangan Teknologi Perkerasan Jalan Raya, Peran Perkerasan Jalan dalam Sistem Transportasi Berkelanjutan, Karakteristik Lalu Lintas terhadap Kinerja Perkerasan, Mekanika Tanah Dasar pada Struktur Perkerasan, Material Agregat untuk Perkerasan Jalan, Aspal dan Bahan Pengikat Alternatif, Perkerasan Lentur: Konsep dan Aplikasi, Metode Konstruksi dan Kontrol Mutu Perkerasan, Kerusakan Perkerasan dan Mekanisme Kegagalan, Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan, Pemeliharaan dan Rehabilitasi Perkerasan Jalan.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PERKERASAN	
JALAN RAYA.....	1
1.1 Konsep Dasar Perkerasan Jalan.....	1
1.2 Inovasi Material Perkerasan Jalan	5
1.2.1 Material Aspal Modifikasi	5
1.2.2 Material Lokal.....	6
1.2.3 Material Daur Ulang (<i>Aspal Recycling Asphalt Pavement</i>).....	8
1.3 Tantangan dan masa depan.....	9
1.4 Kesimpulan.....	11
DAFTAR PUSTAKA.....	12
BAB 2 PERAN PERKERASAN JALAN DALAM SISTEM	
TRANSPORTASI BERKELANJUTAN	13
2.1 Transportasi merupakan tulang punggung pembangunan ekonomi dan sosial suatu negara.....	13
2.2 Konsep Transportasi Berkelanjutan.....	14
2.3 Sistem Transportasi dan Infrastruktur Jalan	14
2.4 Pengertian dan Jenis Perkerasan Jalan.....	15
2.4.1 Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	15
2.4.2 Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	16
2.4.3 Perkerasan Komposit (<i>Composite Pavement</i>).....	16
2.5 Prinsip keberlanjutan dalam Infrastruktur Transportasi	16
2.5.1 Aspek Lingkungan	16
2.5.2 Aspek Ekonomi.....	17
2.5.3 Aspek Sosial	17
2.6 Regulasi dan Kebijakan Transportasi Berkelanjutan di Indonesia.....	17
2.7 Peran Perkerasan Jalan dalam Sistem Transportasi Berkelanjutan.....	18
2.7.1 Perkerasan Jalan dan Efisiensi Energi Kendaraan ..	18

2.7.2 Pengaruh Kualitas Perkerasan terhadap Emisi Kendaraan.....	18
2.7.3 Daya Tahan dan Umur Layan Perkerasan.....	19
2.7.4 Penggunaan Material Ramah Lingkungan	19
2.7.5 Teknologi Inovatif dalam Perkerasan Berkelanjutan	19
2.7.6 Kontribusi Perkerasan Terhadap Keselamatan dan Kenyamanan Transportasi.....	20
2.8 Evaluasi Kinerja Perkerasan terhadap Prinsip Keberlanjutan.....	20
2.8.1 Aspek Lingkungan.....	20
2.8.2 Aspek Ekonomi	21
2.8.3 Aspek Sosial.....	21
2.9 Studi Kasus Implementasi Perkerasan Berkelanjutan di Indonesia.....	21
2.10 Tantangan dalam Penerapan Perkerasan Berkelanjutan	22
2.11 Strategi Pengembangan Perkerasan Berkelanjutan	22
2.12 Kesimpulan	23
DAFTAR PUSTAKA	25
BAB 3 KARAKTERISTIK LALU LINTAS TERHADAP KINERJA PERKERASAN.	27
3.1 Konsep Dasar Kinerja Perkerasan.....	28
3.2 Karakteristik Lalu Lintas Dan Parameter Kunci.....	30
3.3 Pengaruh Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Kinerja Jalan	32
3.4 Analisis Teknis Dan Pemodelan.....	34
3.5 Strategi Pengendalian Dan Optimasi Kerja.	36
3.6 Kesimpulan dan Rekomendasi.....	38
DAFTAR PUSTAKA	40
BAB 4 MEKANIKA TANAH DASAR PADA STRUKTUR PERKERASAN	41
4.1 Sifat Mekanik Tanah Dasar	42
4.1.1 Daya Dukung Tanah.....	43
4.1.2 Modulus Elastisitas (<i>Resilient Modulus</i>).....	43
4.1.3 Kuat Geser Tanah.....	43
4.1.4 Kompresibilitas.....	44

4.2 Karakteristik Fisik Tanah Dasar.....	44
4.2.1 Kadar Air (<i>Water Content</i>)	44
4.2.2 Berat Isi Tanah (<i>Unit Weight</i>).....	45
4.2.3 Distribusi Ukuran Butir (<i>Grain Size Distribution</i>).....	45
4.2.4 Plastisitas Tanah	46
4.3 Perilaku Tanah Dasar terhadap Beban Lalu Lintas.....	46
4.4 Ruang Lingkup Keselamatan dan Rekayasa Kerja	48
4.4.1 Nilai CBR vs Modulus Resilien (Mr).....	48
4.4.2 Korelasi Empiris (CBR–Mr)	49
4.4.3 Parameter Desain Menurut Bina Marga	49
4.4.4 Parameter Desain Menurut AASHTO	50
4.4.5 Parameter Desain Menurut Austroads.....	50
4.5 Perbaikan Tanah Dasar (<i>Soil Improvement</i>)	50
4.5.1 Stabilisasi Tanah	51
4.5.2 Perkuatan Tanah (<i>Soil Reinforcement</i>)	52
4.5.3 Drainase Tanah Dasar	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
BAB 5 MATERIAL AGREGAT UNTUK	
PERKERASAN JALAN	57
5.1 Konsep Dasar Material Agregat.....	57
5.2 Sifat Fisik Agregat.....	58
5.2.1 Gradasi dan Ukuran Partikel Agregat.....	58
5.2.2 Bentuk dan Struktur Agregat	60
5.2.3 Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	62
5.2.4 Porositas dan Penyerapan Air (<i>Absorption</i>)	63
5.2.5 Kekerasan (<i>hardness</i>) dan kekekalan (<i>soundness</i>)...	63
5.2.6 Kebersihan agregat	64
5.2.7 Berat Isi (<i>Bulk Density</i>)	65
5.3 Sifat mekanik agregat.....	65
5.3.1 Kekuatan (<i>Strength</i>)	66
5.3.2 Ketangguhan (<i>Toughness</i>).....	66
5.3.3 Kelekatan terhadap Aspal/Semen (<i>Adhesion</i>).....	67
5.4 Bahan Agregat Untuk Konstruksi Fondasi Jalan.....	67
5.5 Bahan Agregat Untuk Campuran Aspal	69
5.5.1 Persyaratan Agregat untuk Campuran Aspal	69
5.5.2 Fraksi Agregat Kasar	72
5.5.3 Agregat Halus.....	74

5.5.4 Bahan Pengisi (Filler) Dalam Campuran Aspal	74
DAFTAR PUSTAKA	75
BAB 6 ASPAL DAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF	77
6.1 Fundamental Aspal Konvensional.....	77
6.2 Karakteristik dan Pengujian Aspal untuk Evaluasi	
Kinerja	79
6.2.1 Karakteristik Fisik Aspal.....	79
6.2.2 Evaluasi Kinerja Perkerasan.....	83
6.3 Inovasi Aspal Modifikasi.....	84
6.3.1 Material Agregat.....	88
6.3.2 Material Aspal	90
DAFTAR PUSTAKA	93
BAB 7 PERKERASAN LENTUR: KONSEP	
DAN APLIKASI	99
7.1 Pengertian Perkerasan Lentur	102
7.2 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur	104
7.2.1 Lapisan Permukaan (<i>Surface Course</i>)	104
7.2.2 Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>).....	110
7.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (<i>Sub-base Course</i>).....	111
7.2.4 Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	112
7.3 Karakteristik Material Perkerasan Lentur.....	113
7.3.1 Aspal.....	114
7.3.2 Agregat.....	114
7.3.3 Bahan Tambahan (<i>Additive</i>).....	116
7.4 Prinsip Perencanaan Perkerasan Lentur.....	116
7.4.1 Distribusi Beban Secara Bertahap	117
7.4.2 Kekuatan Struktur Berlapis	118
7.4.3 Ketahanan terhadap Beban Lalu Lintas.....	119
7.4.4 Umur Rencana (<i>Design Life</i>)	120
7.4.5 Kondisi Tanah Dasar	122
7.4.6 Drainase yang Baik.....	123
7.4.7 Material yang Sesuai	123
7.4.8 Analisis Tegangan dan Regangan	123
7.5 Kerusakan pada Perkerasan Lentur	124
7.6 Aplikasi Perkerasan Lentur Dalam Infrastruktur Jalan...	126
7.6.1 Studi Pendahuluan dan Perencanaan	126
7.6.2 Analisis Lalu Lintas	127

7.6.3 Investigasi Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	127
7.6.4 Perencanaan Struktur Perkerasan Lentur	128
7.6.5 Persiapan Lahan dan Pekerjaan Tanah	130
7.6.6 Pelaksanaan Lapisan Pondasi Bawah (<i>Subbase</i>)	131
7.6.7 Pelaksanaan Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)....	134
7.6.8 Pelaksanaan Lapisan Aspal (<i>Surface Course</i>)	137
7.6.9 Pengendalian Mutu (<i>Quality Control</i>)	139
7.6.10 Pemeliharaan Jalan.....	142
7.7 Penutup	144
DAFTAR PUSTAKA.....	145
BAB 8 METODE KONSTRUKSI DAN MUTU	
PERKERASAN.....	147
8.1 Tahapan Konstruksi Perkerasan di Lapangan (Dari Tanah Dasar hingga Lapis Permukaan).....	149
8.1.1 Persiapan Pekerjaan: Tertib Lokasi dan Tertib Data	150
8.1.2 Pekerjaan Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	151
8.1.3 Pekerjaan Lapis Pondasi Bawah dan Lapis Pondasi Atas (<i>Subbase Course – Base Course</i>).....	152
8.1.4 Pekerjaan Lapis Permukaan: Aspal atau Beton.....	152
8.2 Kontrol Mutu Perkerasan Lentur (Aspal).....	154
8.2.1 Kontrol Material dan Campuran (Sebelum Dihampar)	154
8.2.2 Kontrol Proses Lapangan : Prime Coat, Tack Coat, Hampar-Pemadatan.....	155
8.2.3 Kontrol Hasil: Ketebalan, Kepadatan, dan Kerataan	157
8.3 Kontrol Mutu Perkerasan Kaku (Beton)	158
8.3.1 Kontrol Lapis Pondasi: Kepadatan dan Stabilitas sebelum Beton dicor	159
8.3.2 Kontrol Beton Segar: Workability (<i>Slump Test</i>) dan Konsistensi	160
8.3.3 Kontrol Beton Keras : Kuat Tekan/Kuat Lentur dan Kualitas Permukaan.....	160
8.3.4 Sambungan dan Curing.....	161
8.4 Penutup	163
DAFTAR PUSTAKA.....	164

BAB 9 KERUSAKAN PERKERASAN DAN	
MEKANISME KEGAGALAN	167
9.1 Jenis Kerusakan Perkerasan	168
9.1.1 Kerusakan pada Perkerasan Lentur	169
9.1.2 Kerusakan pada Perkerasan Kaku.....	176
9.2 Mekanisme Terjadinya Kerusakan Perkerasan.....	184
DAFTAR PUSTAKA	186
BAB 10 EVALUASI KONDISI PERKERASAN JALAN	189
10.1 Konsep Dasar Perkerasan Jalan	189
10.2 Metode Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan	190
10.3 Jenis Kerusakan Perkerasan Jalan	193
10.4 Parameter Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan	196
10.5 Teknik Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan	199
10.6 Jenis Evaluasi Kondisi Perkerasan.....	201
10.7 Prosedur Evaluasi Kondisi Jalan	203
10.8 Penanganan Perkerasan Jalan	204
10.9 Faktor Penyebab Kerusakan.....	206
DAFTAR PUSTAKA	211
BAB 11 PEMELIHARAAN DAN REHABILITASI	
PERKERASAN JALAN	213
11.1 Pemeliharaan Jalan.....	214
11.3 Tindakan Preventif dalam Pekerjaan Manajemen	
Pemeliharaan Perkerasan Aspal.....	220
11.4 Pemrograman Preservasi Jaringan Jalan	224
DAFTAR PUSTAKA	227
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku.....	4
Tabel 5.1. Ringkasan Perbedaan Kekerasan dan Kekekalan.....	64
Tabel 5.2. Ringkasan Perbedaan Fokus Ketahanan	64
Tabel 5.3 Batasan Nilai <i>Aggregate Impact Value</i> (AIV)	67
Tabel 5.4. Gradasi Lapis Fondasi Agregat.....	68
Tabel 5.5. Sifat-Sifat Lapis Fondasi Agregat.....	68
Tabel 5.6a. Ketentuan Sifat Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)	70
Tabel 5.6b. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (HRS)	70
Tabel 5.6c. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)	71
Tabel 5.6d. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi.....	71
Tabel 5.7. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi.....	72
Tabel 5.8. Ketentuan Fraksi agregat kasar untuk penampung dingin untuk campuran beraspal... ..	73
Tabel 5.9. Ketentuan Agregat Halus	74
Tabel 6.1. Persyaratan Aspal	82
Tabel 6.2. Pengukuran kinerja perkerasan jalan secara umum	83
Tabel 6.3. Solusi aspal berkelanjutan	85
Tabel 7.1. Syarat tebal lapis permukaan perkerasan lentur (umum).....	110
Tabel 7.2. Ketentuan Agregat Kasar.....	115
Tabel 7.3. Ketentuan Agregat Halus.....	116
Tabel 7.4. Standar Umur Rencana untuk struktur perkerasan di Indonesia	121
Tabel 7.5. Metode perencanaan yang umum digunakan di Indonesia dan Internasional.....	130
Tabel 7.6. Analisis masalah dan solusi lapangan dalam pelaksanaan <i>subbase</i>	133
Tabel 7.7. Spesifikasi Umum Aspal (Bina Marga) pada Lapisan Aspal (<i>Surface Course</i>).....	139

Tabel 7.8. Spesifikasi Umum Aspal *Quality Control* 141

Tabel 7.9. Strategi pemeliharaan kontruksi perkerasam
lentur 143

Tabel 10.1. Parameter Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan.. 208

Tabel 10.2. Teknik Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan..... 209

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Jenis Perkerasan Jalan Raya	2
Gambar 1.2. Jenis Geosintetik untuk Stabilisasi Tanah.....	3
Gambar 1.3. Penggunaan Bahan Nano-Material dan Aditif Kimia.....	7
Gambar 1.4. <i>Recycling Asphalt Pavement</i> (RAP)	8
Gambar 4.1. Sifat Mekanik Tanah dasar	42
Gambar 4.2. Sifat Mekanik Tanah dasar	45
Gambar 4.3. Distribusi Beban.....	47
Gambar 6.1. Proses Produksi Aspal	80
Gambar 7.1. Tipikal lapis perkerasan beraspal “ <i>Full Depth Asphalt</i> ”	100
Gambar 7.2. Susunan Struktur Perkerasan Lentur	100
Gambar 7.3. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 1 Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (<i>At Grade</i>).....	101
Gambar 7.4. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 2 Perkerasan Lentur pada Timbunan.....	101
Gambar 7.5. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 3 Perkerasan Lentur pada Galian	102
Gambar 7.6. Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur	103
Gambar 7.7. Material bahan pengikat aspal.....	114
Gambar 7.8. Kerusakan retak pada perkerasan jalan	124
Gambar 7.9. Kerusakan Alur (<i>rutting</i>) pada perkerasan jalan	125
Gambar 7.10. Kerusakan Alur (<i>rutting</i>) pada perkerasan jalan.....	125
Gambar 7.11. Kerusakan Alur (<i>rutting</i>) pada perkerasan jalan.....	125
Gambar 7.12. Aplikasi perkerasan lentur pada infrastruktur jalan	126
Gambar 7.13. Survey untuk perencanaan infrastruktur jalan.....	127
Gambar 7.14. Persiapan lahan dan pekerjaan tanah	131

Gambar 7.15. Pelaksanaan Lapisan Pondasi Bawah (<i>Subbase</i>)	133
Gambar 7.16. Pelaksanaan Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	134
Gambar 7.17. Penghamparan dan pepadatan <i>Surface Course</i>	138
Gambar 8.1. Perbedaan Karakteristik Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku	148
Gambar 8.2. Tahapan Pekerjaan Perkerasan Lentur dan <i>Quality Control</i> di Lapangan	150
Gambar 8.3. Alur Proses Konstruksi Perkerasan Aspal.	157
Gambar 8.4. Alur Proses Konstruksi Perkerasan Aspal	162
Gambar 9.1. <i>Fatigue cracking</i> pada perkerasan lentur	170
Gambar 9.2. <i>Block cracking</i> pada perkerasan lentur	170
Gambar 9.3. Retak tepi pada perkerasan lentur	171
Gambar 9.4. Retak memanjang pada perkerasan lentur	171
Gambar 9.5. Retak refleksi sambungan pada perkerasan lentur	172
Gambar 9.6. Tambalan pada perkerasan lentur	173
Gambar 9.7. Alur pada perkerasan lentur	173
Gambar 9.7. <i>Shoving</i> pada perkerasan lentur	174
Gambar 9.9. <i>Ravelling</i> pada perkerasan lentur	175
Gambar 9.10. <i>Corner breaks</i> pada perkerasan kaku	177
Gambar 9.11. <i>Durability cracking</i> pada perkerasan kaku ...	177
Gambar 9.12. <i>Longitudinal cracking</i> pada perkerasan kaku	178
Gambar 9.13. <i>Transverse cracking</i> pada perkerasan kaku .	178
Gambar 9.14. <i>Map cracking</i> pada perkerasan kaku	180
Gambar 9.15. <i>Scaling</i> pada perkerasan kaku	180
Gambar 9.16. <i>Polished aggregate</i> pada perkerasan kaku	181
Gambar 9.17. <i>Popouts</i> pada perkerasan kaku	181
Gambar 9.18. <i>Blowups</i> pada perkerasan kaku	182
Gambar 9.19. <i>Faulting of transverse joints and cracks</i> pada perkerasan kaku	182
Gambar 9.20. <i>Lane-to-shoulder dropoff</i> pada perkerasan kaku	183

Gambar 9.21. <i>Water bleeding and pumping</i> pada perkerasan kaku.....	184
Gambar 10.1. Proses Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan.....	204
Gambar 11.1. Tipikal penurunan kondisi jalan terhadap waktu	215
Gambar 11.2. Implementasi <i>fog seal</i>	221
Gambar 11.3. Implementasi <i>chip seal</i>	222
Gambar 11.4. Implementasi <i>Micro surfacing</i>	223
Gambar 2.5. Implementasi LTBA	225

BAB 1

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PERKERASAN JALAN RAYA

Perkerasan jalan raya merupakan komponen penting dalam sistem transportasi darat yang berfungsi untuk menjamin distribusi beban lalu lintas secara aman, nyaman, dan ekonomis. Dalam perspektif rekayasa transportasi modern, perkerasan tidak hanya dipandang sebagai struktur fisik, tetapi juga sebagai sistem yang harus mampu beradaptasi terhadap dinamika beban kendaraan, kondisi lingkungan, serta tuntutan keberlanjutan. Literatur terbaru menunjukkan bahwa perkembangan teknologi perkerasan jalan didorong oleh peningkatan volume lalu lintas dan kebutuhan infrastruktur yang andal, sehingga mendorong inovasi pada material, desain, dan metode konstruksi (Azmi, 2026)

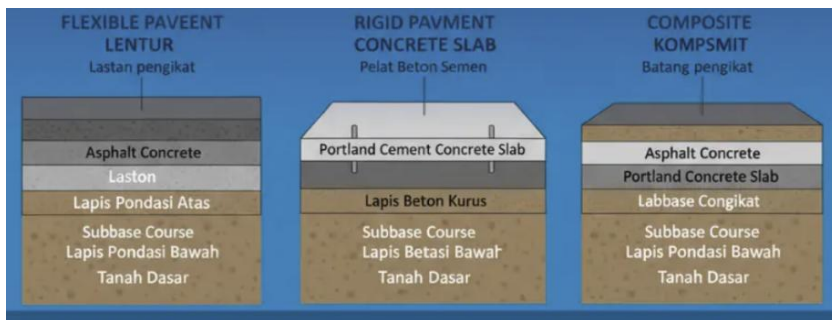
Seiring dengan meningkatnya kompleksitas sistem transportasi, pendekatan perencanaan dan desain perkerasan telah mengalami transformasi signifikan dari metode empiris menuju pendekatan mekanistik-empiris yang lebih rasional. Studi terbaru menunjukkan bahwa metode konvensional seperti AASHTO 1993 mulai ditinggalkan secara bertahap karena keterbatasannya dalam merepresentasikan kondisi aktual lapangan, terutama pada wilayah dengan karakteristik tanah dan iklim yang beragam. (Chandra, Agus and Kwintaryana, 2025). Oleh karena itu, pengembangan pedoman desain seperti Manual Desain Perkerasan 2024 menjadi langkah strategis dalam meningkatkan akurasi perencanaan perkerasan jalan.

1.1 Konsep Dasar Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan suatu sistem struktur berlapis yang dirancang untuk menyalurkan beban lalu lintas dari permukaan jalan ke tanah dasar (*subgrade*) secara bertahap, sehingga tegangan

yang terjadi tidak melampaui daya dukung tanah. Dalam perspektif rekayasa modern, perkerasan tidak hanya dipandang sebagai struktur statis, tetapi sebagai sistem dinamis yang harus mampu merespons variasi beban kendaraan, kondisi lingkungan, dan faktor waktu. Oleh karena itu, pendekatan desain perkerasan saat ini menekankan pada kinerja jangka panjang (*long-term performance*) serta efisiensi siklus hidup (*life cycle performance*) (Chandra, Agus and Kwintaryana, 2025)

Secara struktural, perkerasan jalan terdiri atas beberapa lapisan utama, yaitu lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*). Masing-masing lapisan memiliki fungsi spesifik yang saling terintegrasi dalam mendistribusikan beban lalu lintas. Lapis permukaan berfungsi menerima beban langsung sekaligus melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh lingkungan, sedangkan lapis pondasi berperan dalam menyebarkan beban ke area yang lebih luas. Tanah dasar menjadi komponen yang sangat menentukan karena karakteristiknya sangat mempengaruhi respons keseluruhan struktur perkerasan. Variabilitas sifat tanah dasar terbukti dapat meningkatkan regangan kritis dan mempengaruhi akurasi prediksi umur layanan jika tidak dianalisis secara tepat.



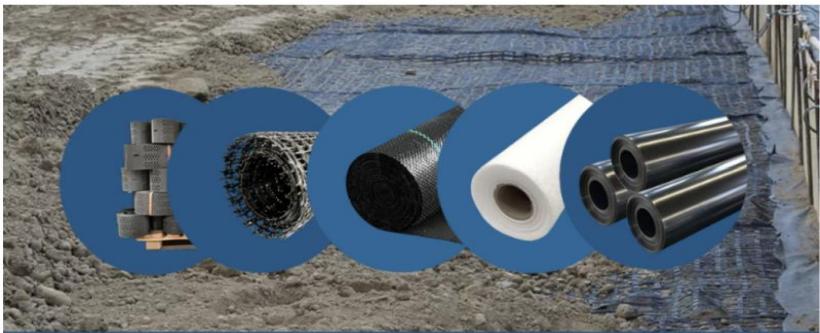
Gambar 1.1. Jenis Perkerasan Jalan Raya
(Sumber : Putri, 2026)

Selain itu, ada juga perkerasan jalan dengan geosintetik yang merupakan teknik memperkuat struktur jalan menggunakan material polimer sintetis untuk stabilisasi tanah dan meningkatkan daya dukung tanah dan keawetan lapisan jalan.(Mahbub *et al.*, 2025)

Berikut adalah tiga fungsi utama penggunaan geosintetik pada jalan:

1. **Perkuatan (*Reinforcement*):** Penggunaan Geogrid atau Geotextile Woven membantu menyebarkan beban kendaraan secara lebih luas, sehingga mencegah terjadinya retak refleksi dan alur (*rutting*) pada permukaan aspal.
2. **Separasi (*Pemisahan*):** Geotextile diletakkan di antara tanah dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi untuk mencegah bercampurnya butiran tanah halus dengan agregat, sehingga stabilitas struktur tetap terjaga.
3. **Drainase dan Filtrasi:** Geosintetik memungkinkan air mengalir keluar dari struktur jalan tanpa membawa partikel tanah, yang sangat penting untuk mencegah kerusakan akibat kejenuhan air.

Penggunaan teknologi ini sangat efektif untuk pembangunan jalan di atas tanah lunak (seperti daerah rawa atau tanah lempung) karena dapat mengurangi ketebalan material timbunan yang dibutuhkan.



Gambar 1.2. Jenis Geosintetik untuk Stabilisasi Tanah
(Sumber: Karina, P, 2026)

Berdasarkan jenis material pengikat dan perilaku strukturalnya, perkerasan jalan diklasifikasikan menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat yang memiliki sifat viskoelastis, sehingga mampu meredam tegangan akibat beban

dinamis kendaraan. Sebaliknya, perkerasan kaku menggunakan beton semen dengan modulus elastisitas tinggi yang memungkinkan distribusi beban secara lebih luas melalui aksi pelat. Perkerasan komposit merupakan kombinasi kedua sistem tersebut dan berkembang sebagai solusi untuk meningkatkan kinerja struktural serta mengurangi potensi kerusakan seperti retak reflektif dan deformasi permanen. (Sugema and Maulana, 2024)

Tabel 1.1. Perbandingan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

Aspek	Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)
Material Utama	Aspal (bitumen)	Beton semen Portland
Distribusi Beban	Beban disalurkan secara bertahap ke lapisan bawah	Beban langsung disalurkan ke tanah dasar melalui slab beton
Kekuatan Struktural	Bergantung pada kombinasi lapisan (surface, base, subbase)	Didominasi oleh kekuatan slab beton
Umur Layanan	10–15 tahun (dengan pemeliharaan rutin)	20–30 tahun (lebih panjang, pemeliharaan lebih jarang)
Biaya Awal	Relatif lebih murah	Relatif lebih mahal
Biaya Pemeliharaan	Lebih tinggi, perlu overlay berkala	Lebih rendah, hanya perbaikan retak/ joint
Kenyamanan Berkendara	Lebih halus, fleksibel terhadap deformasi	Lebih kaku, kadang terasa getaran
Adaptasi Iklim Tropis	Lebih rentan terhadap suhu tinggi dan air	Lebih tahan terhadap suhu dan kelembaban
Keberlanjutan	Menggunakan RAP, WMA	Dapat menggunakan fly ash, slag, atau material daur ulang beton

Sumber: Binamarga, 2024

Perkembangan terbaru dari konsep dasar perkerasan jalan juga mencakup aspek keberlanjutan dan pengelolaan kinerja berbasis data. Pendekatan *sustainable pavement* menekankan

penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, serta pengurangan emisi karbon sepanjang siklus hidup jalan. Selain itu, integrasi sistem drainase yang efektif dan pengendalian kadar air pada tanah dasar menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas struktur perkerasan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa desain perkerasan yang mempertimbangkan aspek drainase dan lingkungan dapat meningkatkan umur layanan serta menurunkan biaya pemeliharaan secara signifikan. Dengan demikian, konsep dasar perkerasan jalan telah berkembang menjadi pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan aspek teknis, lingkungan, dan manajerial.(Mahbub *et al.*, 2025)

Di Indonesia, munculnya Manual Desain Perkerasan 2024 (MDP 2024) menjadi tonggak penting karena dirasakan lebih adaptif terhadap kondisi tanah tropisnya, mempertimbangkan *modulus resilient* secara dinamis, mengintegrasikan aspek lingkungan. Adapun hasil penelitian dari para Ahli menunjukkan bahwa Manual Desain Perkerasan 2024 (MDP 2024) mampu mengurangi tebal perkerasan hingga $\pm 17\%$ dibanding AASHTO dan lebih efisien dalam penggunaan material dan energi(Hendriyani and Surya, 2024)

1.2 Inovasi Material Perkerasan Jalan

Perkembangan teknologi material perkerasan jalan dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan tren yang signifikan menuju peningkatan kinerja struktural dan keberlanjutan lingkungan. (Hijriah, 2025) Inovasi material tidak hanya difokuskan pada peningkatan kekuatan dan ketahanan terhadap beban lalu lintas, tetapi juga pada efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, serta pemanfaatan sumber daya lokal dan material daur ulang. Pendekatan ini dikenal sebagai *sustainable pavement materials*, yang menekankan pentingnya analisis siklus hidup (*life cycle assessment*) dalam pemilihan material perkerasan.(Chandra, Agus and Kwintaryana, 2025)

1.2.1 Material Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi merupakan aspal yang ditambahkan bahan aditif seperti polimer, serat, atau nano-material untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan terhadap beban lalu lintas. Tujuan utama penggunaan Material Aspal Modifikasi adalah:

1. Meningkatkan *rutting resistance* (ketahanan terhadap alur permanen).
2. Memperbaiki *fatigue resistance* (ketahanan terhadap retak akibat beban berulang).
3. Menambah durabilitas terhadap pengaruh suhu tinggi dan rendah.

Mekanisme modifikasi polimer bekerja dengan membentuk jaringan elastis dalam matriks aspal sehingga meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan ikatan antar molekul. Salah satu manfaat utama dari aspal modifikasi adalah ketahanannya yang lebih baik terhadap suhu ekstrem. Aspal konvensional memiliki kelemahan saat terpapar suhu yang sangat tinggi atau rendah. Pada suhu tinggi, aspal cenderung menjadi sangat lengket dan bisa meleleh, sementara pada suhu rendah, aspal bisa mengeras dan menjadi rapuh. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan permukaan jalan, terutama pada musim panas yang sangat panas atau musim dingin yang ekstrem. (Suwanto, 2024)

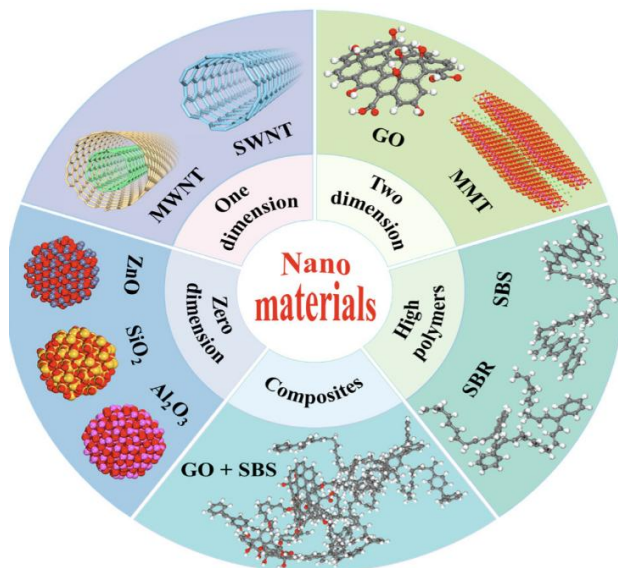
1.2.2 Material Lokal

Material lokal yang terdapat di Buton Sulawesi Tenggara dikenal dengan Asbuton (Aspal Buton) yang keberadaannya bukan sekadar komoditas tambang biasa; ia adalah harta karun strategis yang menempatkan Indonesia sebagai salah satu pemilik cadangan aspal alam terbesar di dunia. Terletak di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, material ini menjadi kunci krusial dalam ambisi kemandirian infrastruktur nasional. Asbuton dapat menjadi alternatif pengganti aspal minyak impor yang selama ini mendominasi pasar konstruksi jalan di Indonesia. Pemanfaatan Asbuton tidak hanya bernilai ekonomis, tetapi juga mendukung kemandirian bangsa dalam sektor transportasi dan infrastruktur.

Salah satu jenis material aspal modifikasi yang paling umum adalah *Polymer Modified Asphalt* (PMA), yang menggunakan polimer seperti *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) dan *Ethylene-Vinyl Acetate* (EVA). Penambahan polimer ini meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas aspal sehingga mampu menahan deformasi akibat beban berulang serta mengurangi retak pada suhu rendah. Selain itu,

terdapat juga penggunaan karet alam atau *crumb rubber* dari limbah ban kendaraan, yang dikenal sebagai *Rubberized Asphalt*. Material ini tidak hanya meningkatkan performa struktural tetapi juga memberikan manfaat lingkungan melalui pemanfaatan limbah.

Selain polimer dan karet, inovasi terbaru dalam aspal modifikasi mencakup penggunaan bahan nano (*nano-material*) dan aditif kimia seperti anti-stripping agent. Nanoteknologi dalam aspal, misalnya dengan penambahan *nano-silika* atau *nano-clay*, mampu meningkatkan stabilitas termal dan ketahanan terhadap oksidasi. Di sisi lain, bahan aditif kimia berfungsi meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat, terutama pada kondisi basah, sehingga mengurangi potensi kerusakan akibat air. Pendekatan ini sejalan dengan perkembangan ilmu material yang menekankan rekayasa material pada skala mikro dan nano untuk meningkatkan performa makroskopis. (Huang *et al.*, 2024)



Gambar 1.3. Penggunaan Bahan Nano-Material dan Aditif Kimia
(Sumber : Binamarga, 2024)

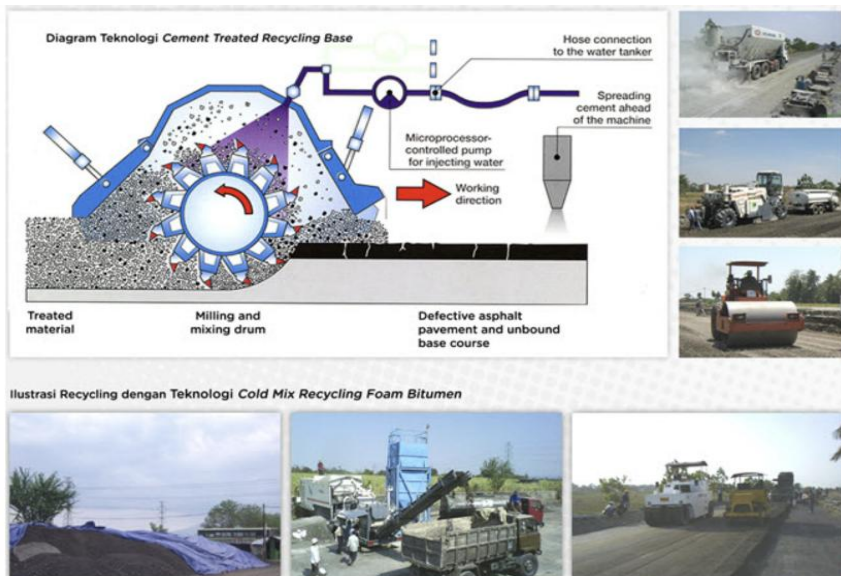
Implementasinya dalam penggunaan aspal modifikasi harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan. Secara teknis, diperlukan pengujian laboratorium seperti uji penetrasi,

viskositas, dan *dynamic shear rheometer* (DSR) untuk memastikan kualitas material. Secara ekonomis, meskipun biaya awal lebih tinggi dibanding aspal konvensional, namun umur layanan yang lebih panjang dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah menjadikan aspal modifikasi lebih efisien dalam jangka panjang. (Syafira, 2022)

Ditinjau dari sisi lingkungan, pemanfaatan material daur ulang dan peningkatan durabilitas jalan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan penggunaan sumber daya alam. Dengan demikian, material aspal modifikasi menjadi solusi strategis dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan.

1.2.3 Material Daur Ulang (*Aspal Recycling Asphalt Pavement*)

Material daur ulang aspal (RAP) adalah hasil pengupasan perkerasan lama yang digunakan kembali dalam campuran baru. (Marshall, 2023) Konsep ini mendukung *circular economy* dan pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi limbah konstruksi serta ketergantungan pada material baru. Studi sistematis menunjukkan RAP mampu menekan dampak lingkungan sekaligus mempertahankan kinerja jalan.



Gambar 1.4. *Recycling Asphalt Pavement (RAP)*
(Sumber : Binamarga, 2024)

Potensi dan Keunggulan *Recycling Asphalt Pavement*

1. Efisiensi Ekonomi Penggunaan RAP dapat menekan biaya konstruksi hingga 20–40% karena mengurangi kebutuhan agregat dan aspal minyak. Analisis siklus hidup di Indonesia menunjukkan bahwa campuran dengan 30–50% RAP menurunkan biaya dan dampak lingkungan secara signifikan
2. Keberlanjutan Lingkungan RAP mengurangi limbah konstruksi yang biasanya dibuang ke landfill. Penelitian internasional menegaskan bahwa pemanfaatan RAP mendukung pengurangan emisi karbon dan konservasi sumber daya alam .
3. Kinerja Teknis Dengan teknologi pencampuran modern, RAP dapat digunakan dalam lapisan *surface* maupun *binder*. Evaluasi kinerja RAP dengan tambahan plastik multilayer di ITS Surabaya menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap deformasi permanen.
4. Kemandirian Material Pemanfaatan RAP dari proyek rehabilitasi jalan lokal mendukung kemandirian material nasional sebagai solusi manajemen *waste* konstruksi di Indonesia

Teknologi Pengolahan RAP dengan *Cold Recycling* menggunakan emulsi atau *foamed asphalt* tanpa pemanasan. Kajian terbaru menilai teknologi ini efektif secara lingkungan dan ekonomi, meski masih ada tantangan teknis. Hot Recycling (*in-plant*) Dimana RAP dicampur di *batch plant* atau *drum plant*. Studi menunjukkan kualitas campuran mendekati material baru dengan kontrol suhu yang tepat, sedangkan *Hot In-place Recycling* (HIR) merupakan Perkerasan lama dipanaskan di lokasi, dicampur aditif, lalu dipadatkan kembali. (Vitório *et al.*, 2026)

1.3 Tantangan dan masa depan

Perkembangan teknologi perkerasan jalan raya tidak terlepas dari berbagai tantangan yang bersifat kompleks dan saling terkait. Salah satu tantangan utama adalah peningkatan beban lalu lintas, baik dari sisi volume maupun muatan sumbu kendaraan, yang sering kali melampaui asumsi desain awal. Hal ini menyebabkan percepatan kerusakan seperti *rutting* dan *fatigue cracking*, sehingga menuntut inovasi desain berbasis kinerja dalam teknik sipil. Selain itu,

variabilitas kondisi iklim terutama di wilayah tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu ekstrem menjadi faktor kritis yang mempengaruhi durabilitas perkerasan, sehingga diperlukan material yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Dari aspek teknis dan operasional, keterbatasan kualitas pelaksanaan konstruksi di lapangan masih menjadi isu signifikan. Ketidaksesuaian antara spesifikasi desain dan implementasi, seperti kontrol temperatur campuran, pemadatan yang tidak optimal, serta kualitas agregat yang bervariasi, dapat menurunkan kinerja perkerasan secara keseluruhan. Di sisi lain, keterbatasan teknologi dan sumber daya manusia yang kompeten dalam mengoperasikan peralatan modern juga memperlambat adopsi inovasi. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi tidak hanya bergantung pada material, tetapi juga pada sistem manajemen konstruksi yang terintegrasi.

Tantangan ekonomi dan kebijakan juga berperan besar, terutama dalam hal pembiayaan infrastruktur dan pengambilan keputusan berbasis biaya awal. Meskipun teknologi baru seperti aspal modifikasi atau beton berkinerja tinggi menawarkan keunggulan jangka panjang, investasi awal yang tinggi sering menjadi hambatan implementasi. Selain itu, belum meratanya regulasi dan standar teknis yang mendukung inovasi menyebabkan adopsi teknologi berjalan tidak seragam. Dalam konteks ini, diperlukan pendekatan berbasis *life cycle cost* untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil lebih rasional dan berorientasi jangka panjang.

Ke depan, masa depan teknologi perkerasan jalan raya akan sangat dipengaruhi oleh kemajuan dalam ilmu material dan digitalisasi. Inovasi seperti *smart pavement* yang dilengkapi sensor untuk memantau kondisi struktural secara *real-time*, material *self-healing* yang mampu memperbaiki retak secara otomatis, serta penggunaan nanoteknologi untuk meningkatkan kinerja material akan menjadi tren utama. Selain itu, integrasi dengan konsep transportasi cerdas (*intelligent transportation systems*) akan menjadikan perkerasan tidak hanya sebagai infrastruktur pasif, tetapi juga sebagai bagian aktif dalam sistem transportasi modern.

Aspek keberlanjutan juga akan menjadi fokus utama di masa depan. Penggunaan material ramah lingkungan seperti bio-asphalt, pemanfaatan limbah plastik dan karet, serta penerapan prinsip *Reduce-Reuse-Recycle* akan semakin ditingkatkan. Evaluasi berbasis *life cycle assessment* (LCA) akan menjadi standar dalam perencanaan dan pengelolaan perkerasan. Dengan dukungan riset, inovasi teknologi, serta kebijakan yang progresif, masa depan perkerasan jalan raya akan mengarah pada sistem yang lebih tahan lama, efisien, cerdas, dan berkelanjutan.

1.4 Kesimpulan

Perkembangan teknologi perkerasan jalan raya menunjukkan transformasi signifikan dari pendekatan konvensional menuju sistem yang lebih adaptif, inovatif, dan berkelanjutan. Awalnya, desain perkerasan berfokus pada kekuatan struktural sederhana dengan material tradisional, namun seiring meningkatnya beban lalu lintas dan tuntutan kinerja, teknologi berkembang ke arah pemanfaatan material unggul seperti aspal modifikasi, beton berkinerja tinggi, serta rekayasa campuran yang berbasis kinerja (*performance-based design*). Dalam konteks teknik sipil, perubahan ini mencerminkan pergeseran paradigma dari sekadar memenuhi spesifikasi teknis menuju optimalisasi umur layanan dan efisiensi biaya siklus hidup. penggunaan aspal modifikasi harus mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan. Secara teknis, diperlukan pengujian laboratorium seperti uji penetrasi, viskositas, dan *dynamic shear rheometer* (DSR) untuk memastikan kualitas material. Secara ekonomis, meskipun biaya awal lebih tinggi dibanding aspal konvensional, namun umur layanan yang lebih panjang dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah menjadikan aspal modifikasi lebih efisien dalam jangka panjang. Dari sisi lingkungan, pemanfaatan material daur ulang dan peningkatan durabilitas jalan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan penggunaan sumber daya alam. Dengan demikian, material aspal modifikasi menjadi solusi strategis dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, S.L.F.A. (2026) "IDENTIFIKASI REHABILITASI DAN PEMELIHARAAN INFRASTRUKTUR JALAN: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW," *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 5(8), pp. 10031–10036.
- Chandra, I.P., Agus, I.M. and Kwintaryana, P. (2025) "Analisis Perbandingan Tebal Struktur Perkerasan Jalan Kaku Menggunakan Metode AASHTO 1993 , Pd T – 14 – 2003 , dan MDP 2024," 4(2), pp. 118–132.
- Hendriyani, I. and Surya, A. (2024) *TEKNOLOGI PERKERASAN JALAN : Teori , Desain , dan Aplikasi*.
- Hijriah, et all (2025) *Infrastruktur Berkelanjutan*.
- Huang, H. et al. (2024) "Nanomaterials for Modified Asphalt and Their Effects on Viscosity Characteristics : A Comprehensive Review."
- Mahbub, J. et al. (2025) "Penerapan Teknologi Beton Porous Precast untuk Perkerasan Jalan Pejalan Kaki di Kelurahan Ngadirgo Kota Semarang," 4(2), pp. 225–235. Available at: <https://doi.org/10.60004/komunita.v4i2.163>.
- Marshal, K. (2023) "MANAJEMEN WASTE KONSTRUKSI : PENGGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN," (13), pp. 24–26.
- Sugema, R. and Maulana, R. (2024) "Analisis Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 dalam Konteks Kebijakan Transportasi Berkelanjutan," 23(02), pp. 112–118.
- Suwarto, F. (2024) "Analisis Siklus Hidup pada Campuran Aspal dengan Reclaimed Asphalt Pavement Dengan Metode Life Cycle Assessment," 09(02), pp. 315–326. Available at: <https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.315-326>.
- Syafira, N.A. (2022) "Studi Literatur Perkembangan Nano material," 25(3).
- Vitório, J. et al. (2026) "Valorization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) from the Highway Materials Circularity."
- Putri, K (Januari, 21, 2026) "*Jenis Perkerasan Jalan Raya di Indonesia*". Di akses dari: <https://intibuanageosintetik.com/jenis-perkerasan-jalan-raya-di-indonesia/>

BAB 2

PERAN PERKERASAN JALAN DALAM SISTEM TRANSPORTASI BERKELANJUTAN

2.1 Transportasi merupakan tulang punggung pembangunan ekonomi dan sosial suatu negara.

Peningkatan mobilitas penduduk dan distribusi barang yang semakin pesat menuntut tersedianya infrastruktur jalan yang andal, aman dan berkelanjutan. Di Indonesia, jalan menjadi moda transportasi darat yang paling dominan dalam mendukung aktivitas masyarakat serta pergerakan logistik nasional. Oleh karena itu, kualitas infrastruktur jalan, khususnya perkerasan jalan, memiliki peran strategis dalam menjamin kelancaran sistem transportasi. Dalam konteks pembangunan nasional, sistem transportasi tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan kapasitas dan kecepatan, tetapi juga pada prinsip keberlanjutan. Konsep transportasi berkelanjutan menekankan keseimbangan antara aspek lingkungan, ekonomi dan sosial. Hal ini sejalan dengan arah kebijakan pembangunan berkelanjutan yang diadopsi Indonesia melalui komitmen terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs). Infrastruktur transportasi, termasuk jalan, dituntut untuk mampu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti emisi gas rumah kaca, konsumsi energi berlebih serta degradasi sumber daya alam. (United Nations)

Proses pembangunan dan pemeliharaan perkerasan jalan juga berkontribusi terhadap penggunaan sumber daya alam dan emisi karbon.

Berdasarkan uraian diatas, perlu dilakukan kajian mengenai peran perkerasan jalan dalam mendukung sistem transportasi berkelanjutan. Kajian ini penting untuk memahami bagaimana

perencanaan, pembangunan dan pengelolaan perkerasan jalan dapat diintegrasikan dengan prinsip yang berkelanjutan guna mendukung pembangunan infrastruktur yang efisien, ramah lingkungan serta berorientasi pada kesejahteraan masyarakat jangka panjang.

2.2 Konsep Transportasi Berkelanjutan

Konsep transportasi berkelanjutan berkembang sebagai respons terhadap meningkatnya permasalahan lingkungan, kemacetan, konsumsi energi dan ketimpangan aksesibilitas. Transportasi berkelanjutan diartikan sebagai sistem transportasi yang mampu memenuhi kebutuhan mobilitas generasi sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya. Konsep ini selaras dengan gagasan pembangunan berkelanjutan yang dipopulerkan melalui laporan *Our Common Future* oleh World Commission on Environment and Development. (Oxford University Press)

Secara umum transportasi berkelanjutan memiliki tiga dimensi utama, yaitu:

1. Lingkungan: mengurangi emisi gas rumah kaca, polusi udara, kebisingan dan konsumsi energi fosil.
2. Ekonomi: meningkatkan efisiensi sistem transportasi serta menekan biaya operasional dan biaya eksternal.
3. Sosial: menjamin aksesibilitas, keselamatan dan pemerataan layanan transportasi bagi seluruh lapisan masyarakat.

Dalam prakteknya, transportasi berkelanjutan tidak hanya berfokus pada moda, tetapi juga mencakup perencanaan tata ruang, manajemen lalu lintas serta kualitas infrastruktur pendukung seperti jalan.

2.3 Sistem Transportasi dan Infrastruktur Jalan

Sistem transportasi merupakan suatu kesatuan yang terdiri atas elemen prasarana (infrastruktur), sarana (kendaraan), manusia (pengguna dan operator) serta regulasi yang saling berinteraksi

untuk memindahkan orang dan barang dari satu tempat ke tempat lain secara efisien dan aman.

Infrastruktur jalan merupakan komponen utama dalam sistem transportasi darat. Jalan berfungsi sebagai prasarana distribusi barang dan mobilitas masyarakat, sekaligus penghubung antar wilayah yang mendukung pertumbuhan ekonomi regional. Kinerja sistem transportasi sangat dipengaruhi oleh kondisi infrastruktur jalan, termasuk struktur perkerasan, kapasitas dan tingkat pelayanan.

Jalan yang dirancang dan dipelihara dengan baik dapat meningkatkan kelancaran arus lalu lintas mengurangi kemacetan serta menurunkan biaya operasional kendaraan. Sebaliknya, ifrastruktur jalan yang kurang memadai dapat menimbulkan kemacetan, pemborosan energi serta peningkatan emisi. (*International Energy Agency*).

2.4 Pengertian dan Jenis Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah struktur lapisan konstruksi yang dibangun di atas tanah dasar (*subgrade*) untuk mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar secara merata sehingga tidak terjadi kerusakan permanen. Perkerasan dirancang agar mampu menahan beban kendaraan, pengaruh cuaca serta faktor lingkungan lainnya selama umur rencana. (Huang Y.H, 2004).

Perkerasan jalan dibedakan menjadi tiga jenis :

2.4.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur menggunakan bahan pengikat aspal sebagai lapisan permukaan. Struktur ini terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan tanah dasar. Beban lalu lintas disalurkan secara bertahap kelapisan di bawahnya.

Karakteristik utama:

1. Bersifat fleksibel mengikuti deformasi tanah dasar.
2. Biaya awal relatif lebih rendah.
3. Membutuhkan pemeliharaan berkala.

2.4.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku menggunakan beton semen sebagai lapisan utama yang memiliki modulus elastisitas tinggi. Beban lalu lintas disebarkan melalui pelat beton ke area yang lebih luas.

Karater utama:

1. Kekuatan struktural tinggi.
2. Umur layan relatif lebih panjang.
3. Biaya awal lebih tinggi, tetapi biaya pemeliharaan lebih rendah.

2.4.3 Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan kaku, misalnya lapisan aspal di atas beton atau sebaliknya. Sistem ini bertujuan menggabungkan keunggulan kedua jenis perkerasan.

Karakteristik utama:

1. Meningkatkan kinerja struktural dan kenyamanan berkendara.
2. Digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas tinggi.

2.5 Prinsip keberlanjutan dalam Infrastruktur Transportasi

Penerapan prinsip keberlanjutan dalam infrastruktur transportasi bertujuan untuk memastikan bahwa pembangunan dan pengelolaan jalan tidak hanya berorientasi pada aspek teknis, tetapi mempertimbangkan dampak jangka panjang.(Papagiannakis A.T, 2008)

2.5.1 Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan mencakup upaya pengurangan emisi karbon, efisiensi penggunaan material, pengelolaan limbah konstruksi serta konservasi sumber daya alam. Dalam konteks, perkerasan jalan, penerapan teknologi seperti penggunaan material daur ulang (*reclaimed asphalt pavement*), beton ramah lingkungan dan desain yang mengurangi konsumsi energi kendaraan menjadi bagian penting dari strategi keberlanjutan.

2.5.2 Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi menekankan efisiensi biaya sepanjang siklus hidup (*lifecylecost*). Perkerasan yang dirancang dengan mempertimbangkan umur layan, biaya pemeliharaan serta dampak terhadap biaya operasional kendaraan akan memberikan manfaat ekonomi jangka panjang bagi pemerintah dan masyarakat.

2.5.3 Aspek Sosial

Aspek sosial berkaitan dengan keselamatan, kenyamanan, aksesibilitas dan pemerataan pelayanan. Infrastruktur jalan yang berkualitas dapat meningkatkan konektivitas wilayah, membuka akses terhadap layanan pendidikan dan kesehatan serta mengurangi kesenjangan antar wilayah.

2.6 Regulasi dan Kebijakan Transportasi Berkelanjutan di Indonesia

Di Indonesia kebijakan transportasi berkelanjutan mengacu pada berbagai regulasi nasional yang mendukung pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan dan efisien. Beberapa regulasi utama antara lain:

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, mengatur penyelenggaraan jalan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional.
2. Undang-Undang nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, mengatur sistem lalu lintas dan angkutan jalan yang aman, tertib dan berkelanjutan.
3. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, menekankan kewajiban perlindungan lingkungan dalam setiap kegiatan pembangunan.

Dengan adanya kerangka regulasi tersebut, pembangunan dan pengelolaan perkerasan jalan di Indonesia diharapkan dapat mendukung sistem transportasi yang efisien, aman, ramah lingkungan serta berorientasi pada kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

2.7 Peran Perkerasan Jalan dalam Sistem Transportasi Berkelanjutan

Perkerasan jalan merupakan elemen struktural utama dalam infrastruktur transportasi darat yang secara berlangsung mempengaruhi kinerja lalu lintas, konsumsi energi, emisi, biaya ekonomi serta aspek sosial seperti keselamatan dan kenyamanan. Dalam konteks transportasi berkelanjutan, perkerasan tidak hanya dinilai dari kekuatan strukturalnya, tetapi dari kontribusinya terhadap efisiensi sistem secara menyeluruh. (World Road Association)

2.7.1 Perkerasan Jalan dan Efisiensi Energi Kendaraan

Kondisi permukaan jalan berpengaruh terhadap *rolling resistance* (hambatan gulir) kendaraan. Perkerasan yang halus dan memiliki tingkat kerataan (*International Roughness Index/IRI*) rendah akan mengurangi gaya hambat yang harus diatasi mesin kendaraan. Hal ini berdampak pada: (AASHTO)

1. Penurunan konsumsi bahan bakar
2. Pengurangan biaya operasional kendaraan
3. Peningkatan efisiensi perjalanan

Sebaliknya permukaan jalan yang bergelombang atau rusak meningkatkan konsumsi energi karena kendaraan membutuhkan tenaga tambahan untuk mempertahankan kecepatan.

2.7.2 Pengaruh Kualitas Perkerasan terhadap Emisi Kendaraan

Efisiensi bahan bakar berkorelasi langsung dengan tingkat emisi gas buang kendaraan. Jalan dengan kondisi baik memungkinkan kendaraan bergerak stabil pada kecepatan optimal sehingga pembakaran bahan bakar lebih efisien dan emisi gas rumah kaca seperti CO₂ dapat ditekan. (International Energy Agency).

1. Perlambatan dan percepatan berulang
2. Kemacetan lokal
3. Konsumsi bahan bakar lebih.

Peningkatan kualitas perkerasan tidak hanya berdampak pada kenyamanan, tetapi berkontribusi terhadap pengurangan emisi dan pencapaian target penurunan emisi sektor transportasi.

2.7.3 Daya Tahan dan Umur Layan Perkerasan

Konsep keberlanjutan dalam perkerasan jalan menekankan pentingnya pendekatan *life cycle cost analysis* (LCCA) dan *life cycle assessment* (LCA). Perkerasan dengan umur rencana yang panjang dan kebutuhan pemeliharaan minimal akan:

1. Mengurangi konsumsi material konstruksi
2. Menekan penggunaan energi selama masa layanan
3. Mengurangi gangguan lalu lintas akibat pekerjaan perbaikan.

Perkerasan yang tahan lama mendukung efisiensi ekonomi dan mengurangi dampak lingkungan akibat rekonstruksi berulang.

2.7.4 Penggunaan Material Ramah Lingkungan

Inovasi material menjadi salah satu strategi utama dalam perkerasan berkelanjutan. Penggunaan material ramah lingkungan meliputi:

1. *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), pemanfaatan kembali material aspal lama
2. Penggunaan limbah industri (*fly ash slag*) dalam beton
3. Aspal modifikasi dengan bahan polimer atau karet daur ulang
4. Beton rendah karbon (*low carbon concrete*)

Pendekatan ini bertujuan mengurangi eksploitasi sumber daya alam baru serta menekan jejak karbon konstruksi jalan.

2.7.5 Teknologi Inovatif dalam Perkerasan Berkelanjutan

Perkembangan teknologi mendukung terciptanya perkerasan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Beberapa inovasi yang relevan antara lain:

1. *Warm Mix Asphalt* (WMA), teknologi pencampuran aspal pada suhu lebih rendah sehingga mengurangi konsumsi energi dan emisi selama produksi
2. *Permeable pavement*, memungkinkan infiltrasi air hujan untuk mengurangi limpasan dan risiko banjir
3. *Self healing asphalt*, material aspal yang mampu memperbaiki retakan mikro secara mandiri

4. Sistem manajemen aset jalan berbasis teknologi informasi untuk optimasi pemeliharaan.

Teknologi ini mendukung efisiensi konstruksi, memperpanjang umur layanan dan mengurangi dampak lingkungan.

2.7.6 Kontribusi Perkerasan Terhadap Keselamatan dan Kenyamanan Transportasi

Kualitas perkerasan berpengaruh langsung terhadap tingkat keselamatan lalu lintas. Permukaan jalan yang rata dan memiliki tekstur memadai dapat:

1. Meningkatkan daya cengkeram ban terhadap permukaan jalan
2. Mengurangi risiko tergelincir (*skidding*)
3. Mengurangi getaran dan kebisingan

Infrastruktur jalan yang aman dan nyaman mendorong mobilitas yang inklusif dan berkeadilan sosial, sejalan dengan prinsip transportasi berkelanjutan.

2.8 Evaluasi Kinerja Perkerasan terhadap Prinsip Keberlanjutan

Evaluasi kinerja perkerasan dalam kerangka transportasi berkelanjutan perlu dilakukan secara multidimensional dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, ekonomi dan sosial.

2.8.1 Aspek Lingkungan

Kinerja lingkungan dapat dianalisis melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA), yang mencakup tahap produksi, material, konstruksi, operasional, pemeliharaan, hingga akhir masa layanan. Indikator yang digunakan antara lain. (*International Energy Agency*)

1. Emisi gas rumah kaca (CO₂ -eq)
2. Konsumsi energi
3. Penggunaan sumber daya alam
4. Limbah konstruksi

Perkerasan dengan tingkat kerataan tinggi dan umur layanan panjang cenderung menghasilkan dampak lingkungan yang lebih

rendah dalam jangka panjang karena mengurangi frekuensi rehabilitasi.

2.8.2 Aspek Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan dengan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), yaitu menghitung total biaya selama umur rencana, termasuk biaya awal, pemeliharaan, rehabilitasi serta biaya operasional kendaraan akibat kondisi jalan.

Perkerasan yang mungkin memiliki biaya awal lebih tinggi (misalnya beton) dapat menjadi lebih ekonomis dalam jangka panjang jika biaya pemeliharaan dan gangguan lalu lintas lebih rendah.

2.8.3 Aspek Sosial

Indikator sosial mencakup:

1. Tingkat keselamatan lalu lintas
2. Kenyamanan pengguna jalan
3. Aksesibilitas wilayah
4. Minimnya gangguan selama konstruksi dan pemeliharaan

Perkerasan yang tahan lama dan minim perbaikan berkala akan mengurangi kemacetan dan meningkatkan kualitas pelayanan jalan kepada masyarakat.

2.9 Studi Kasus Implementasi Perkerasan Berkelanjutan di Indonesia

Implementasi ini mulai diterapkan pada beberapa proyek strategis nasional. Salah satu contoh adalah penerapan teknologi *Warm Mix Asphalt* (WMA) pada beberapa ruas jalan nasional yang dikelola oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Teknologi ini memungkinkan pencampuran dan pemadatan aspal pada suhu lebih rendah dibandingkan metode konvensional sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi selama proses produksi.

Selain itu, penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) telah diterapkan dalam program preservasi jalan nasional untuk memanfaatkan kembali material hasil pembongkaran jalan lama.

Pendekatan ini mendukung efisiensi penggunaan material dan mengurangi kebutuhan agregat baru.

Proyek jalan tol yang dikelola oleh PT Jasa Marga (Persero)Tbk, penerapan sistem manajemen aset berbasis data digunakan untuk memantau kondisi perkerasan secara berkala. Sistem ini membantu menentukan waktu intervensi pemeliharaan yang optimal sehingga memperpanjang umur layanan jalan dan menekan biaya jangka panjang.(Direktorat Jenderal Bina Marga)

2.10 Tantangan dalam Penerapan Perkerasan Berkelanjutan

Meskipun memiliki banyak manfaat, penerapan perkerasan berkelanjutan menghadapi beberapa tantangan, antara lain. (Kemeterian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat).

1. Keterbatasan Anggaran Awal : Teknologi dan material inovatif sering kali membutuhkan biaya investasi awal yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.
2. Kurangnya Kapasitas Teknis: Tidak semua daerah memiliki sumber daya manusia dan peralatan yang memadai untuk menerapkan teknologi baru.
3. Ketersediaan Material Ramah Lingkungan: Distribusi material daur ulang atau bahan alternatif belum merata di seluruh Indonesia.
4. Koordinasi Antar Instansi: Implementasi keberlanjutan membutuhkan sinergi antara perencana, pelaksana, regulator dan pengawas.
5. Kondisi Geografis dan Iklim: Variasi kondisi tanah dan iklim tropis Indonesia menuntut desain perkerasan yang adaptif dan spesifik lokasi.

2.11 Strategi Pengembangan Perkerasan Berkelanjutan

Untuk mendukung sistem transportasi berkelanjutan, diperlukan strategi pengembangan yang komprehensif, antara lain. (United Nation)

1. Integrasi Perencanaan Berbasis Siklus Hidup: Setiap proyek perkerasan perlu menggunakan pendekatan LCCA dan LCA sejak tahap perencanaan.
2. Penguatan Regulasi dan Standar Teknis: Penyusunan standar nasional yang mendorong penggunaan material daur ulang dan teknologi rendah emisi.
3. Peningkatan Kapasitas SDM: Pelatihan teknis bagi perencana, kontraktor dan pengawas terkait teknologi perkerasan berkelanjutan.
4. Insentif untuk Inovasi: Pemberian insentif bagi proyek yang menerapkan teknologi ramah lingkungan atau berhasil menurunkan jejak karbon.
5. Digitalisasi Manajemen Aset jalan: Penggunaan sistem monitoring berbasis data untuk mendeteksi kerusakan dini dan menentukan strategi pemeliharaan yang optimal.
6. Kolaborasi Multi Pihak: Sinergi antar pemerintah, sektor swasta, akademisi dan masyarakat untuk mendukung riset dan implementasi teknologi perkerasan berkelanjutan.

Dengan evaluasi berbasis siklus hidup, penerapan teknologi inovatif serta dukungan kebijakan dan kapasitas kelembagaan yang memadai, pembangunan perkerasan jalan di Indonesia dapat diarahkan menuju sistem transportasi yang lebih efisien, ramah lingkungan dan berorientasi pada kesejahteraan masyarakat jangka panjang.

2.12 Kesimpulan

Perkerasan jalan memiliki peran strategis dalam mendukung terwujudnya sistem transportasi berkelanjutan. Perkerasan tidak hanya berfungsi sebagai struktur penopang beban lalu lintas, juga menjadi faktor penentu efisiensi energi, pengurangan emisi, keselamatan, kenyamanan serta efisiensi biaya dalam sistem transportasi darat.

Aspek lingkungan, kualitas perkerasan yang baik mampu menurunkan hambatan gulir kendaraan sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca. Penggunaan material daur ulang, teknologi percampuran suhu rendah serta

pendekatan berbasis siklus hidup semakin memperkuat kontribusi perkerasan terhadap pengurangan dampak lingkungan.

Aspek ekonomi, penerapan *Life Cycle Cost Analysis* menunjukkan bahwa perkerasan yang dirancang dengan mempertimbangkan umur layan dan strategi pemeliharaan yang tepat dapat memberikan efisiensi biaya jangka panjang meskipun investasi awal mungkin lebih tinggi. Infrastruktur yang tahan lama, juga meminimalkan gangguan lalu lintas akibat pekerjaan perbaikan ulang.

Aspek sosial, perkerasan yang berkualitas meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, memperlancar mobilitas serta mendukung konektivitas antar wilayah. Hal ini berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat dan pemerataan pembangunan.

Dengan pendekatan yang komprehensif dan berorientasi jangka panjang, perkerasan jalan dapat menjadi instrumen penting dalam mendukung sistem transportasi yang efisien, ramah lingkungan, aman dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design Of Pavement Structures*. Washington D.C. ASSHTO.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ)*. Jakarta. Kementerian PUPR.
- Huang Y.H (2004). *Pavement Analysis and Design (2nd ed)*. Upper Saddle River NJ: Pearson Prentice Hall.
- International Energy Agency (2019). *Transport Sector CO₂ Emissions and Energy Outlook*. Paris: IEA.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2020). *Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkerasan Jalan*. Jakarta: Dirktorat Jenderal Bina Marga.
- Papagiannakis A.T & Masad E.A (2008). *Pavement Design and Materials*. Hoboken NJ: Jhon Wiley & Sons.
- Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang *jalan*.
- Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang *Lalu Lintas dan Angkutan jalan*.
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- United Nations (2015). *Transforming Our World: The 2020 Agenda for Sustainable Development*. New York:United Nation.
- World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.

BAB 3

KARAKTERISTIK LALU LINTAS TERHADAP KINERJA PERKERASAN.

Perkerasan jalan merupakan salah satu komponen utama dalam sistem transportasi darat yang berfungsi menyediakan permukaan perjalanan yang aman, nyaman, dan efisien bagi pengguna jalan (Zaniewski dkk., 2020; AASHTO, 1993). Kinerja perkerasan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi lingkungan, mutu material, metode konstruksi, dan terutama karakteristik lalu lintas yang melintas di atasnya (Zaniewski dkk., 2020; Robinson dan Thompson, 2020). Lalu lintas tidak hanya menentukan seberapa sering perkerasan menerima beban, tetapi juga seberapa besar dan bervariasi beban tersebut dari waktu ke waktu.

Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan jumlah kendaraan berat, khususnya truk angkutan barang dan kendaraan logistik, telah menimbulkan tekanan yang semakin besar terhadap infrastruktur jalan (Robinson dan Thompson, 2020; Lin dan Chou, 2020). Kondisi overloading masih menjadi persoalan yang sering dijumpai pada jaringan jalan di Indonesia dan mempercepat penurunan umur layanan perkerasan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017; Setyawan dkk., 2021). Beban berlebih tersebut dapat memicu kerusakan dini seperti retak lelah, deformasi permanen, serta penurunan tingkat kenyamanan berkendara (Huang dan Scullion, 2020; Lin dan Chou, 2020). Akibatnya, biaya pemeliharaan meningkat dan efisiensi sistem transportasi ikut menurun.

Karakteristik lalu lintas mencakup volume kendaraan, komposisi jenis kendaraan, distribusi arah, kecepatan operasi, dan beban sumbu (AASHTO, 1993; Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017). Seluruh parameter ini sangat penting dalam

perencanaan perkerasan karena berhubungan langsung dengan besarnya beban kumulatif yang diterima struktur jalan sepanjang umur rencana (Huang dan Scullion, 2020; Robinson dan Thompson, 2020). Tanpa data lalu lintas yang akurat dan representatif, desain perkerasan berisiko tidak sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga umur layan yang dihasilkan bisa lebih pendek dari yang direncanakan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017; Setyawan dkk., 2021).

Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap hubungan antara karakteristik lalu lintas dan kinerja perkerasan menjadi sangat penting dalam perencanaan, evaluasi, dan pemeliharaan jalan (Zaniewski dkk., 2020; Huang dan Scullion, 2020). Dengan analisis yang tepat, perencana dapat memperkirakan masa layan secara lebih realistis, menentukan strategi pemeliharaan yang lebih efektif, serta mendukung pengelolaan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan (AASHTO, 1993; Setyawan dkk., 2021). Bab ini membahas konsep dasar kinerja perkerasan, pengaruh karakteristik lalu lintas terhadap kerusakan jalan, serta pendekatan teknis yang digunakan untuk menganalisis hubungan keduanya.

3.1 Konsep Dasar Kinerja Perkerasan.

Kinerja perkerasan dapat diartikan sebagai kemampuan struktur jalan dalam menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan selama umur rencananya tanpa mengalami kerusakan yang berarti (Zaniewski dkk., 2020). Kinerja yang baik mencerminkan kenyamanan berkendara, keselamatan pengguna jalan, serta efisiensi biaya pemeliharaan. Dalam perencanaan jalan, kinerja perkerasan menjadi salah satu ukuran utama untuk menilai apakah struktur yang dibangun masih mampu memberikan pelayanan yang sesuai dengan kebutuhan lalu lintas yang melewatinya (AASHTO, 1993).

Pada praktiknya, kinerja perkerasan dinilai melalui beberapa indikator utama. Salah satu indikator yang paling umum digunakan adalah International Roughness Index (IRI), yaitu ukuran kekasaran permukaan jalan yang berhubungan langsung dengan kenyamanan berkendara dan kualitas

pelayanan jalan (Zaniewski dkk., 2020). Selain itu, kerusakan permukaan seperti retak (*cracking*), deformasi permanen (*rutting*), dan penurunan kapasitas struktural juga sering dijadikan indikator dalam evaluasi kondisi perkerasan (Huang dan Scullion, 2020). Kombinasi dari indikator-indikator tersebut memberikan gambaran yang cukup lengkap mengenai kondisi fisik dan fungsional jalan.

Kinerja perkerasan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti beban lalu lintas, kondisi iklim, kualitas material, sistem drainase, serta metode konstruksi dan pemeliharaan (Robinson dan Thompson, 2020). Di antara faktor-faktor tersebut, beban lalu lintas memiliki pengaruh yang sangat besar karena bekerja secara langsung terhadap struktur perkerasan dalam bentuk beban berulang. Setiap kali kendaraan melintas, lapisan perkerasan menerima tegangan dan regangan yang jika terjadi terus-menerus akan menyebabkan kelelahan material dan penurunan kinerja secara bertahap (Lin dan Chou, 2020).

Faktor lingkungan juga tidak dapat diabaikan. Perubahan suhu, curah hujan, dan kelembapan dapat memengaruhi sifat material perkerasan, terutama pada perkerasan lentur yang sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kondisi drainase (Zaniewski dkk., 2020). Pada kondisi tertentu, air yang masuk ke dalam lapisan perkerasan dapat melemahkan ikatan antarbutir dan menurunkan daya dukung lapisan dasar. Oleh karena itu, kinerja perkerasan harus dipahami sebagai hasil interaksi antara beban lalu lintas, material, lingkungan, dan tata cara pelaksanaan pekerjaan jalan secara keseluruhan (AASHTO, 1993).

Pemahaman terhadap konsep dasar kinerja perkerasan menjadi landasan penting sebelum membahas lebih jauh bagaimana karakteristik lalu lintas memengaruhi kerusakan jalan. Dengan memahami aspek struktural dan fungsional perkerasan, analisis terhadap pengaruh lalu lintas dapat dilakukan secara lebih tepat dan realistis, baik untuk tujuan desain, evaluasi, maupun pemeliharaan jalan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017; Setyawan dkk., 2021).

3.2 Karakteristik Lalu Lintas Dan Parameter Kunci

Karakteristik lalu lintas menggambarkan perilaku, komposisi, dan intensitas kendaraan yang melintasi suatu ruas jalan pada periode tertentu. Pemahaman terhadap karakteristik ini sangat penting karena lalu lintas merupakan sumber utama pembebanan pada perkerasan selama umur layan jalan (AASHTO, 1993; Huang dan Scullion, 2020). Dalam perencanaan dan evaluasi perkerasan, data lalu lintas digunakan untuk memperkirakan besarnya beban kumulatif yang akan diterima struktur jalan dan untuk menilai apakah kapasitas perkerasan masih memadai terhadap tuntutan operasional.

Salah satu parameter utama dalam karakteristik lalu lintas adalah volume lalu lintas. Volume ini menunjukkan jumlah kendaraan yang melintas pada suatu titik jalan dalam kurun waktu tertentu, umumnya dinyatakan dalam kendaraan per hari atau kendaraan per jam. Volume yang tinggi, terutama jika disertai proporsi kendaraan berat yang besar, akan mempercepat degradasi perkerasan karena frekuensi pembebanan yang semakin sering (Robinson dan Thompson, 2020). Oleh sebab itu, data volume lalu lintas menjadi dasar penting dalam analisis beban jalan.

Parameter berikutnya adalah komposisi kendaraan. Dalam suatu ruas jalan, jumlah kendaraan ringan biasanya jauh lebih besar dibandingkan kendaraan berat, namun kontribusi terhadap kerusakan perkerasan justru didominasi oleh kendaraan berat seperti truk dan bus (Lin dan Chou, 2020). Perbedaan jumlah sumbu, tekanan ban, dan distribusi muatan menyebabkan kendaraan berat memiliki dampak kerusakan yang jauh lebih besar dibandingkan kendaraan ringan. Karena itu, dalam analisis desain, seluruh kendaraan biasanya dikonversi menjadi beban ekuivalen agar efek kerusakannya dapat dibandingkan secara seragam (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

Distribusi arah lalu lintas juga perlu diperhatikan. Pada jalan dua arah, pembagian arus kendaraan yang tidak seimbang dapat menyebabkan salah satu lajur menerima beban lebih besar daripada lajur lainnya. Kondisi ini akan menyebabkan tingkat kerusakan yang berbeda antar lajur dan memengaruhi prioritas pemeliharaan (Zaniewski dkk., 2020). Selain itu, pola harian dan musiman juga

berpengaruh, karena ruas jalan tertentu dapat mengalami lonjakan lalu lintas pada jam sibuk, akhir pekan, musim libur, atau periode pengangkutan hasil produksi tertentu.

Beban sumbu kendaraan merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan tingkat kerusakan perkerasan. Beban sumbu yang melebihi batas rencana dapat meningkatkan regangan pada lapisan perkerasan dan mempercepat timbulnya retak serta deformasi permanen (Lin dan Chou, 2020). Oleh karena itu, pengawasan terhadap muatan kendaraan menjadi bagian penting dalam pengelolaan jalan. Sistem penimbangan kendaraan yang baik dapat membantu memperoleh data beban aktual yang lebih akurat untuk kepentingan evaluasi desain dan pengendalian pelanggaran muatan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

Selain beban dan volume, kecepatan operasi kendaraan juga memengaruhi respons perkerasan. Kecepatan rendah pada kondisi lalu lintas padat dapat memperpanjang waktu kontak beban dengan permukaan jalan, sementara kecepatan tinggi dapat menimbulkan gaya dinamis yang lebih besar (Huang dan Scullion, 2020). Kedua kondisi ini sama-sama dapat berpengaruh terhadap laju kerusakan perkerasan, walaupun dalam mekanisme yang berbeda. Dengan demikian, kecepatan kendaraan tidak hanya berkaitan dengan tingkat pelayanan lalu lintas, tetapi juga dengan perilaku struktural jalan.

Faktor terakhir yang tidak kalah penting adalah pertumbuhan lalu lintas dari waktu ke waktu. Seiring perkembangan wilayah, pertumbuhan ekonomi, dan peningkatan aktivitas logistik, volume kendaraan pada suatu ruas jalan cenderung meningkat dari tahun ke tahun (Setyawan dkk., 2021). Jika pertumbuhan ini tidak diantisipasi dalam desain, maka perkerasan dapat mengalami kerusakan lebih cepat dari yang diperkirakan. Karena itu, analisis lalu lintas harus bersifat dinamis dan diperbarui secara berkala agar desain dan strategi pemeliharaan tetap relevan terhadap kondisi aktual di lapangan.

Dengan memahami parameter-parameter lalu lintas tersebut, perencanaan jalan dapat menilai beban aktual yang bekerja pada perkerasan secara lebih realistis. Informasi ini menjadi dasar bagi

analisis pada bab berikutnya, yaitu bagaimana karakteristik lalu lintas berpengaruh langsung terhadap kinerja perkerasan jalan.

3.3 Pengaruh Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Kinerja Jalan

Karakteristik lalu lintas memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kinerja perkerasan karena beban kendaraan merupakan sumber utama tegangan dan regangan pada struktur jalan. Setiap kendaraan yang melintas memberikan kontribusi terhadap akumulasi kerusakan, dan dampaknya akan semakin nyata ketika volume kendaraan tinggi, komposisi kendaraan berat besar, atau beban sumbu melebihi batas yang direncanakan (Robinson dan Thompson, 2020; Lin dan Chou, 2020). Dalam konteks ini, kinerja perkerasan tidak hanya ditentukan oleh kualitas material dan konstruksi, tetapi juga oleh pola pembebanan lalu lintas yang terjadi setiap hari.

Salah satu pengaruh paling nyata adalah beban berlebih atau overloading. Kendaraan berat dengan muatan melebihi kapasitas akan menghasilkan tegangan yang jauh lebih besar pada lapisan perkerasan. Bila kondisi ini berlangsung terus-menerus, maka material perkerasan akan mengalami kelelahan lebih cepat dan memunculkan kerusakan seperti retak leleh, deformasi permanen, dan penurunan kenyamanan berkendara (Lin dan Chou, 2020; Huang dan Scullion, 2020). Dalam banyak kasus, kerusakan yang terjadi di lapangan lebih cepat muncul dibandingkan umur desain yang direncanakan karena beban aktual ternyata lebih tinggi dari asumsi awal desain.

Frekuensi lalu lintas juga berperan besar dalam penurunan kinerja perkerasan. Walaupun satu kendaraan mungkin tidak menimbulkan kerusakan signifikan, akumulasi dari ribuan hingga jutaan lintasan kendaraan berat akan menyebabkan degradasi struktural secara bertahap (Zaniewski dkk., 2020). Semakin tinggi volume lalu lintas, semakin sering perkerasan menerima pembebanan, sehingga proses penurunan kualitas permukaan dan struktur berlangsung lebih cepat. Hal ini menjelaskan mengapa ruas jalan dengan volume tinggi umumnya memerlukan pemeliharaan yang lebih intensif dibandingkan jalan dengan lalu lintas rendah.

Komposisi lalu lintas juga memengaruhi tingkat kerusakan. Meskipun kendaraan ringan mendominasi jumlah total arus lalu lintas, kontribusinya terhadap kerusakan perkerasan relatif kecil dibandingkan kendaraan berat seperti truk gandar tunggal, gandar ganda, atau kendaraan pengangkut barang dengan muatan besar (AASHTO, 1993; Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017). Satu kendaraan berat dapat memberikan dampak kerusakan setara dengan banyak kendaraan ringan. Oleh karena itu, peningkatan kecil pada proporsi kendaraan berat sering kali berdampak besar terhadap umur layan perkerasan.

Kecepatan kendaraan juga memengaruhi respon perkerasan. Pada kecepatan rendah, waktu kontak beban dengan permukaan jalan menjadi lebih lama, sehingga tegangan yang diterima lapisan perkerasan cenderung lebih besar. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, efek dinamis dari kendaraan dapat menambah variasi beban yang diterima struktur jalan (Huang dan Scullion, 2020). Kondisi ini menunjukkan bahwa perilaku lalu lintas tidak hanya penting dari sisi volume, tetapi juga dari sisi kecepatan dan pola geraknya.

Pada banyak ruas jalan di Indonesia, kerusakan perkerasan sering kali muncul lebih awal dari yang diperkirakan dalam desain awal. Salah satu penyebab utamanya adalah ketidaksesuaian antara data lalu lintas rancangan dan kondisi aktual di lapangan, terutama pada ruas dengan intensitas angkutan barang yang tinggi (Setyawan dkk., 2021). Pertumbuhan ekonomi, perkembangan kawasan industri, dan meningkatnya distribusi logistik dapat membuat beban lalu lintas melonjak jauh melampaui proyeksi sebelumnya. Jika data pertumbuhan ini tidak dimutakhirkan secara berkala, maka perencanaan perkerasan akan menjadi kurang akurat.

Secara keseluruhan, karakteristik lalu lintas memengaruhi kinerja perkerasan melalui mekanisme pembebanan berulang, peningkatan tegangan akibat overloading, perubahan pola distribusi beban, dan akumulasi kerusakan seiring waktu. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik lalu lintas menjadi sangat penting dalam menentukan desain, evaluasi, dan strategi pemeliharaan perkerasan jalan agar umur layan tetap sesuai dengan target yang direncanakan (Zaniewski dkk., 2020; Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

3.4 Analisis Teknis Dan Pemodelan.

Analisis teknis diperlukan untuk menjelaskan bagaimana karakteristik lalu lintas memengaruhi kinerja perkerasan melalui hubungan antara beban kendaraan dan respons struktural jalan. Dalam bidang perkerasan, terdapat dua pendekatan yang umum digunakan, yaitu pendekatan empiris dan pendekatan mekanistik-empiris (AASHTO, 1993; Huang dan Scullion, 2020). Kedua pendekatan ini sama-sama bertujuan untuk memprediksi perilaku perkerasan, namun berbeda dalam cara memandang hubungan antara beban lalu lintas dan kerusakan jalan.

Pendekatan empiris didasarkan pada hasil pengamatan lapangan terhadap hubungan antara lalu lintas dan penurunan kinerja perkerasan. Metode ini banyak digunakan karena sederhana dan relatif mudah diterapkan pada tahap perencanaan awal (Zaniewski dkk., 2020). Salah satu konsep yang umum digunakan dalam pendekatan ini adalah beban gandar ekuivalen, yaitu penyeteraan berbagai jenis kendaraan ke dalam satu satuan beban yang setara dengan kerusakan yang ditimbulkan oleh kendaraan standar. Dengan cara ini, lalu lintas yang beragam dapat dinilai secara lebih seragam untuk kepentingan desain jalan (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

Sementara itu, pendekatan mekanistik-empiris mencoba menggabungkan prinsip mekanika bahan dengan data empiris dari hasil pengamatan lapangan (Huang dan Scullion, 2020). Dalam pendekatan ini, beban kendaraan dianalisis sebagai gaya yang menimbulkan tegangan dan regangan pada lapisan-lapisan perkerasan. Respons struktur tersebut kemudian dibandingkan dengan batas kinerja material untuk memperkirakan potensi kerusakan yang akan muncul. Metode ini dianggap lebih representatif karena dapat memperhitungkan variasi kondisi tanah dasar, material perkerasan, iklim, dan pola pembebanan aktual di lapangan (Robinson dan Thompson, 2020).

Dalam praktik perencanaan, lalu lintas tahunan selama umur rencana biasanya dikonversi menjadi akumulasi beban ekuivalen. Nilai ini kemudian digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan yang mampu menahan pembebanan tersebut dengan tingkat keandalan tertentu (AASHTO, 1993). Melalui proses ini,

perencana dapat memperkirakan kapan perkerasan mulai mengalami penurunan kinerja yang signifikan dan kapan tindakan pemeliharaan perlu dilakukan.

Pemodelan kinerja perkerasan juga penting untuk memprediksi perkembangan kerusakan dari waktu ke waktu. Model ini biasanya mengaitkan volume lalu lintas, komposisi kendaraan, beban sumbu, iklim, dan kondisi permukaan jalan dalam suatu persamaan atau algoritma prediktif (Zaniewski dkk., 2020). Hasil model dapat digunakan untuk menyusun jadwal pemeliharaan yang lebih efisien, karena waktu dan jenis intervensi dapat ditentukan sebelum kerusakan menjadi terlalu parah. Dengan demikian, biaya pemeliharaan dapat ditekan dan tingkat pelayanan jalan dapat dipertahankan lebih lama.

Di Indonesia, analisis teknis perkerasan umumnya mengacu pada manual desain dan hasil pengamatan lapangan yang disesuaikan dengan kondisi lokal (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017). Data lalu lintas yang akurat menjadi kunci utama agar model yang digunakan benar-benar mencerminkan beban aktual di lapangan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ketika data pertumbuhan lalu lintas diperbarui secara berkala, hasil prediksi umur layan perkerasan menjadi lebih mendekati kondisi nyata dibandingkan desain yang hanya mengandalkan asumsi awal (Setyawan dkk., 2021).

Perkembangan teknologi juga membuka peluang bagi pemodelan yang lebih canggih. Penggunaan data sensor, pengukuran defleksi, dan analisis digital memungkinkan prediksi kinerja perkerasan dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi (Huang dan Scullion, 2020). Meskipun demikian, pendekatan empiris masih tetap relevan karena mudah dipahami dan diterapkan, terutama pada proyek-proyek dengan keterbatasan data. Oleh karena itu, kombinasi antara pendekatan empiris dan mekanistik-empiris menjadi solusi yang paling seimbang untuk menganalisis hubungan antara lalu lintas dan kinerja perkerasan.

Secara keseluruhan, analisis teknis dan pemodelan berperan sebagai jembatan antara karakteristik lalu lintas dan perilaku struktural perkerasan. Melalui pendekatan yang tepat, perencana dapat memperkirakan umur layan jalan, menentukan prioritas

pemeliharaan, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya secara lebih efektif (Robinson dan Thompson, 2020; Zaniewski dkk., 2020).

3.5 Strategi Pengendalian Dan Optimasi Kerja.

Upaya menjaga kinerja perkerasan tidak hanya bergantung pada tahap desain dan konstruksi, tetapi juga pada strategi pengendalian lalu lintas dan pemeliharaan yang dilakukan secara berkelanjutan. Agar jalan dapat berfungsi sesuai umur rencana, diperlukan pendekatan yang menggabungkan pengawasan beban kendaraan, pemeliharaan preventif, pemanfaatan teknologi, dan kebijakan transportasi yang terintegrasi (Zaniewski dkk., 2020; Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017). Strategi ini bertujuan untuk meminimalkan kerusakan sebelum mencapai tingkat yang dapat mengganggu kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Salah satu langkah paling efektif dalam menjaga umur perkerasan adalah pengendalian beban kendaraan. Pelanggaran batas muatan masih menjadi penyebab utama percepatan kerusakan perkerasan pada banyak ruas jalan yang dilalui kendaraan berat (Lin dan Chou, 2020). Untuk mengatasi hal ini, penerapan sistem penimbangan kendaraan secara weigh-in-motion atau alat sejenis sangat penting karena dapat merekam beban kendaraan secara lebih akurat tanpa mengganggu arus lalu lintas. Data hasil pemantauan tersebut dapat digunakan sebagai dasar penegakan aturan muatan sekaligus sebagai bahan evaluasi desain perkerasan di masa mendatang (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017).

Selain pengendalian beban, desain adaptif juga menjadi strategi penting dalam optimasi kinerja perkerasan. Desain adaptif memungkinkan penyesuaian dimensi dan jenis material berdasarkan kondisi lalu lintas aktual yang terus berubah (AASHTO, 1993). Dengan pendekatan ini, perkerasan tidak lagi dianggap sebagai sistem statis, tetapi sebagai struktur yang dapat dievaluasi dan diperbaiki sesuai perkembangan volume kendaraan dan pola pembebanan. Hasil pemantauan lapangan seperti tingkat kekasaran permukaan, retak, dan deformasi dapat

digunakan untuk memperbarui asumsi desain agar tetap relevan dengan kondisi operasional sebenarnya (Huang dan Scullion, 2020).

Pemeliharaan preventif dan prediktif juga sangat penting dalam mempertahankan kinerja perkerasan. Pendekatan preventif dilakukan sebelum kerusakan menjadi serius, misalnya melalui penutupan retak, pelapisan tipis, atau perbaikan lokal pada permukaan jalan (Zaniewski dkk., 2020). Sementara itu, pemeliharaan prediktif menggunakan data dan model kinerja untuk memperkirakan kapan suatu ruas jalan mulai menunjukkan penurunan fungsi yang signifikan. Dengan demikian, tindakan pemeliharaan dapat dilakukan pada waktu yang paling tepat sehingga biaya perbaikan menjadi lebih efisien dan umur layanan jalan dapat diperpanjang (Setyawan dkk., 2021).

Perkembangan teknologi juga membuka peluang besar dalam pemantauan kondisi perkerasan. Sistem sensor, pengukuran defleksi, serta penggunaan data digital memungkinkan pemantauan kondisi jalan dilakukan secara lebih cepat dan akurat (Huang dan Scullion, 2020). Informasi yang diperoleh dari teknologi ini dapat digunakan untuk menentukan prioritas penanganan jalan secara berbasis data. Dengan cara ini, instansi pengelola jalan dapat mengalokasikan sumber daya secara lebih efektif kepada ruas-ruas yang paling membutuhkan penanganan.

Di samping aspek teknis, kebijakan transportasi yang terintegrasi juga berperan penting dalam menjaga kinerja perkerasan. Pengaturan rute logistik, pembatasan kendaraan berat pada jam tertentu, serta penggunaan moda transportasi alternatif dapat membantu mengurangi beban jalan secara keseluruhan (Robinson dan Thompson, 2020). Sinergi antara kebijakan transportasi, pengawasan muatan, dan pengelolaan pemeliharaan sangat diperlukan agar infrastruktur jalan dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan.

Secara umum, strategi pengendalian dan optimasi kinerja perkerasan mencakup pengawasan beban kendaraan, penerapan desain adaptif, pemeliharaan preventif dan prediktif,

pemanfaatan teknologi pemantauan, serta integrasi kebijakan transportasi. Dengan menerapkan langkah-langkah tersebut secara konsisten, kinerja perkerasan dapat dipertahankan lebih lama, biaya pemeliharaan dapat ditekan, dan kualitas pelayanan jalan kepada masyarakat dapat terus dijaga (AASHTO, 1993; Zaniewski dkk., 2020).

3.6 Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa karakteristik lalu lintas memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kinerja perkerasan jalan. Volume kendaraan, komposisi jenis kendaraan, beban sumbu, kecepatan operasi, dan pertumbuhan lalu lintas merupakan faktor utama yang menentukan seberapa besar beban yang diterima perkerasan selama umur layan (AASHTO, 1993; Zaniewski dkk., 2020). Semakin besar proporsi kendaraan berat dan semakin tinggi frekuensi pembebanan, maka semakin cepat pula proses penurunan kualitas struktur perkerasan berlangsung.

Selain itu, kinerja perkerasan tidak hanya dipengaruhi oleh lalu lintas, tetapi juga oleh interaksi dengan faktor lingkungan, kualitas material, serta metode konstruksi dan pemeliharaan (Huang dan Scullion, 2020). Oleh karena itu, analisis perkerasan perlu dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan. Penggunaan data lalu lintas yang akurat dan mutakhir menjadi sangat penting agar desain perkerasan tidak hanya kuat secara teoritis, tetapi juga sesuai dengan kondisi operasional yang sebenarnya (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017; Setyawan dkk., 2021).

Dari sisi teknis, pendekatan empiris dan mekanistik-empiris sama-sama memiliki peran penting dalam memprediksi kinerja perkerasan. Pendekatan empiris tetap berguna karena sederhana dan mudah diterapkan, sedangkan pendekatan mekanistik-empiris memberikan hasil yang lebih representatif terhadap perilaku struktur jalan di bawah beban lalu lintas nyata (Zaniewski dkk., 2020; Huang dan Scullion, 2020). Kombinasi kedua pendekatan ini akan menghasilkan perencanaan yang lebih adaptif dan efisien.

Berdasarkan hasil pembahasan tersebut, beberapa rekomendasi dapat diajukan. Pertama, data lalu lintas harus diperbarui secara berkala agar desain dan evaluasi perkerasan mencerminkan kondisi aktual di lapangan. Kedua, pengawasan terhadap muatan kendaraan perlu diperkuat untuk mengurangi dampak overloading yang dapat mempercepat kerusakan jalan (Lin dan Chou, 2020). Ketiga, strategi pemeliharaan preventif dan prediktif perlu lebih diutamakan dibandingkan pendekatan reaktif, karena terbukti lebih efisien dalam menjaga umur layanan perkerasan (Robinson dan Thompson, 2020). Keempat, pemanfaatan teknologi pemantauan dan analisis data perlu terus dikembangkan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat.

Secara keseluruhan, pemahaman terhadap hubungan antara karakteristik lalu lintas dan kinerja perkerasan sangat penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang andal, aman, dan berkelanjutan. Dengan pendekatan perencanaan yang tepat, pengawasan yang konsisten, serta pemeliharaan yang terarah, umur layanan perkerasan dapat diperpanjang dan kualitas pelayanan jalan kepada masyarakat dapat ditingkatkan secara signifikan (AASHTO, 1993; Setyawan dkk., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- J. P. Zaniewski, M. T. Peshkin, and E. T. Mahoney, *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, 3rd ed. New York: Springer, 2020.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: AASHTO, 1993.
- S. S. Huang and T. Scullion, "Mechanistic-Empirical Models for Predicting Pavement Performance," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 146, no. 5, pp. 1–12, 2020.
- Directorate General of Highways, *Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ)*, Revisi 2017. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- P. Robinson and R. Thompson, "Traffic Loading Effects on Pavement Deterioration: A Review," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 21, no. 8, pp. 1034–1046, 2020.
- H. W. Lin and Y. C. Chou, "Analysis of Vehicle Overloading Impact on Flexible Pavement Performance," *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 12, pp. 25–33, 2020.
- H. R. Setyawan, R. Soemitro, and A. Santosa, "Evaluasi Hubungan Lalu Lintas dan Umur Rencana Perkerasan pada Ruas Jalan Nasional di Indonesia," *Jurnal Teknik Sipil ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 145–152, 2021.

BAB 4

MEKANIKA TANAH DASAR PADA STRUKTUR PERKERASAN

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan lapisan paling bawah dalam struktur perkerasan jalan yang berfungsi sebagai elemen pendukung utama dalam menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas ke lapisan tanah di bawahnya. Kinerja tanah dasar sangat berpengaruh terhadap stabilitas dan umur layanan perkerasan, karena seluruh beban dari lapisan perkerasan pada akhirnya diteruskan ke lapisan ini (Huang, 2004; Kementerian PUPR, 2017). Oleh sebab itu, kondisi fisik dan mekanik tanah dasar menjadi faktor penting dalam perencanaan dan evaluasi struktur perkerasan jalan.

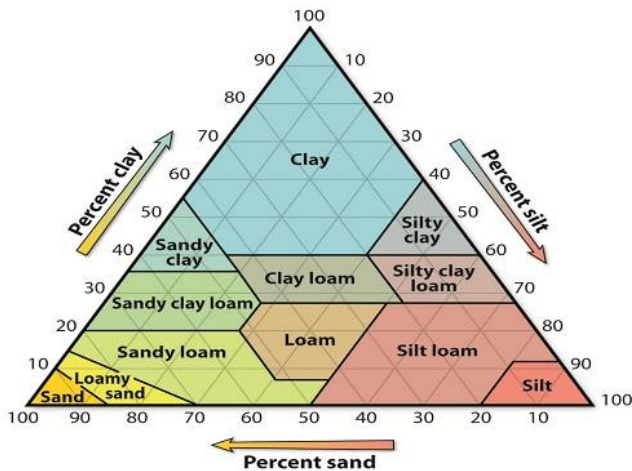
Secara mekanika, tanah dasar akan mengalami respons berupa deformasi elastis dan plastis akibat pembebanan berulang dari kendaraan. Distribusi tegangan dari beban lalu lintas menyebar ke dalam tanah dan berkurang seiring kedalaman, namun tanah dengan daya dukung rendah cenderung mengalami deformasi permanen yang dapat menyebabkan kerusakan seperti retak dan alur (*rutting*) (Yoder & Witczak, 1975; Rahman & Erlingsson, 2015). Oleh karena itu, pemahaman terhadap perilaku tegangan-regangan tanah dasar menjadi sangat penting dalam analisis kinerja perkerasan.

Pada pendekatan desain konvensional, karakteristik tanah dasar umumnya dinilai menggunakan parameter empiris seperti nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Meskipun metode ini mudah diterapkan, namun memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi aktual di lapangan, terutama terhadap pengaruh beban berulang dan variasi lingkungan (AASHTO, 1993). Seiring perkembangan teknologi, pendekatan mekanistik-empiris mulai digunakan dengan mempertimbangkan parameter yang lebih representatif seperti modulus resilien dan hubungan tegangan-regangan (Lekarp et al., 2000; Austroads, 2017).

Selain faktor mekanika, kondisi lingkungan seperti kadar air, curah hujan, dan fluktuasi muka air tanah juga berpengaruh signifikan terhadap sifat tanah dasar. Perubahan kadar air dapat menurunkan kekuatan tanah dan meningkatkan deformasi, khususnya pada tanah lempung yang bersifat kembang-susut (*swelling-shrinkage*) (Indraratna et al., 2015). Oleh karena itu, kajian mekanika tanah dasar perlu mempertimbangkan interaksi antara beban lalu lintas, karakteristik tanah, serta kondisi lingkungan untuk menghasilkan desain perkerasan yang lebih andal dan berkelanjutan.

4.1 Sifat Mekanik Tanah Dasar

Sifat mekanik tanah dasar berkaitan dengan respons tanah terhadap beban yang bekerja, baik beban statis maupun dinamis akibat lalu lintas.



Gambar 4.1. Sifat Mekanik Tanah dasar
(Sumber:<https://aptekindo.com/memahami-sifat-fisik-dan-mekanik-tanah-perspektif-geoteknik>, 2026)

Parameter ini menjadi dasar dalam analisis dan desain perkerasan karena mempengaruhi distribusi tegangan, deformasi, serta umur layanan struktur jalan. Evaluasi sifat mekanik tanah dasar umumnya meliputi daya dukung, modulus elastisitas, kuat geser, dan

kompresibilitas yang saling berinteraksi dalam menentukan kinerja perkerasan (Austroads, 2022; Behnood, 2020).

4.1.1 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan beban tanpa mengalami kegagalan geser atau deformasi berlebihan. Berdasarkan diagram tekstur tanah, jenis tanah seperti *sandy loam* dan *loamy sand* yang berada pada zona dominasi pasir umumnya memiliki daya dukung lebih tinggi dibandingkan tanah lempung. Parameter daya dukung sering dinyatakan dalam nilai *California Bearing Ratio* (CBR), dimana nilai CBR meningkat seiring meningkatnya fraksi pasir dan menurun pada tanah berbutir halus seperti *clay* dan *silty clay* (Kementerian PUPR, 2020; White et al., 2021).

4.1.2 Modulus Elastisitas (*Resilient Modulus*)

Modulus elastisitas atau *resilient modulus* menggambarkan kemampuan tanah untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima beban berulang. Tanah granular seperti pasir dan *sandy loam* pada diagram memiliki modulus resilien yang lebih tinggi karena struktur butirannya mampu mendistribusikan beban secara efektif. Sebaliknya, tanah dengan kandungan lempung tinggi menunjukkan modulus yang lebih rendah dan sangat dipengaruhi oleh kadar air. Oleh karena itu, klasifikasi tekstur tanah menjadi dasar penting dalam memperkirakan respons elastis tanah dalam desain perkerasan modern (Rahman et al., 2020; Nguyen & Mohajerani, 2021).

4.1.3 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah ditentukan oleh kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), yang sangat dipengaruhi oleh komposisi tekstur tanah. Tanah berpasir memiliki sudut geser dalam yang tinggi namun kohesi rendah, sedangkan tanah lempung memiliki kohesi tinggi tetapi sudut geser kecil. Pada diagram tekstur, tanah campuran seperti *clay loam* atau *sandy clay loam* menunjukkan kombinasi sifat tersebut, sehingga memiliki kuat geser yang relatif lebih seimbang. Hal ini penting dalam menjaga stabilitas tanah dasar terhadap beban lalu lintas maupun kondisi lingkungan (Das & Sobhan, 2021).

4.1.4 Kompresibilitas

Kompresibilitas menunjukkan besarnya penurunan tanah akibat pembebanan. Berdasarkan diagram tekstur tanah, tanah dengan kandungan lempung tinggi (zona atas diagram) memiliki kompresibilitas yang besar dan berpotensi mengalami penurunan diferensial. Sebaliknya, tanah berpasir (zona bawah kiri) memiliki kompresibilitas rendah sehingga lebih stabil terhadap beban. Tanah lanau (*silt*) berada pada kondisi menengah, namun cenderung sensitif terhadap perubahan kadar air. Oleh karena itu, klasifikasi tekstur tanah sangat penting dalam mengidentifikasi potensi deformasi tanah dasar dalam jangka panjang (Indraratna et al., 2020).

4.2 Karakteristik Fisik Tanah Dasar

Karakteristik fisik tanah dasar merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan, karena sifat-sifat ini berkaitan langsung dengan kondisi alami tanah di lapangan. Berbeda dengan sifat mekanik yang menggambarkan respons terhadap beban, karakteristik fisik lebih menekankan pada kondisi awal tanah seperti kadar air, kepadatan, distribusi butiran, dan plastisitas. Parameter-parameter tersebut sangat menentukan perilaku tanah terhadap perubahan lingkungan serta kemampuannya dalam mendukung beban lalu lintas. Oleh karena itu, analisis karakteristik fisik tanah dasar menjadi tahap awal yang penting dalam perencanaan dan evaluasi perkerasan jalan (Das & Sobhan, 2021; Kementerian PUPR, 2020).

4.2.1 Kadar Air (*Water Content*)

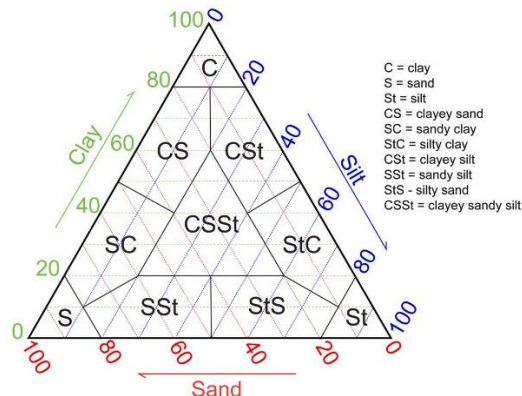
Kadar air merupakan perbandingan antara berat air terhadap berat kering tanah, yang sangat mempengaruhi kekuatan dan stabilitas tanah. Pada tanah berbutir halus seperti lempung, peningkatan kadar air dapat menyebabkan penurunan kuat geser dan daya dukung secara signifikan. Selain itu, kadar air yang tinggi dapat menyebabkan tanah menjadi lunak dan mudah mengalami deformasi. Sebaliknya, kadar air yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan tanah menjadi rapuh. Oleh karena itu, pengendalian kadar air menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan tanah dasar (Das & Sobhan, 2021; Indraratna et al., 2020).

4.2.2 Berat Isi Tanah (*Unit Weight*)

Berat isi tanah menunjukkan tingkat kepadatan tanah yang dinyatakan sebagai berat tanah per satuan volume. Parameter ini terdiri dari berat isi basah dan berat isi kering, yang sering digunakan untuk mengevaluasi tingkat pemadatan tanah di lapangan. Tanah dengan berat isi kering tinggi umumnya memiliki struktur yang lebih padat sehingga mampu menahan beban dengan lebih baik. Sebaliknya, tanah dengan kepadatan rendah cenderung memiliki rongga yang besar sehingga mudah mengalami penurunan dan deformasi. Oleh karena itu, proses pemadatan (*compaction*) menjadi langkah penting dalam meningkatkan kualitas tanah dasar (Kementerian PUPR, 2020; Austroads, 2022).

4.2.3 Distribusi Ukuran Butir (*Grain Size Distribution*)

Distribusi ukuran butir menggambarkan proporsi partikel tanah berdasarkan ukuran, yaitu kerikil, pasir, lanau, dan lempung. Parameter ini digunakan untuk mengklasifikasikan tanah serta memprediksi sifat tekniknnya. Tanah dengan gradasi baik (*well graded*) memiliki variasi ukuran butir yang lengkap sehingga lebih padat dan stabil, sedangkan tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*) cenderung kurang stabil. Hubungan distribusi ukuran butir dengan klasifikasi tanah dapat dilihat pada diagram segitiga tekstur tanah berikut.



Gambar 4.2. Sifat Mekanik Tanah dasar

(Sumber: <https://uhlibraries.pressbooks.pub/historicalgeologylab/capter/chapter5-stratigraphy>, 2026)

Diagram tersebut menunjukkan bahwa komposisi pasir, lanau, dan lempung menentukan jenis tanah yang pada akhirnya mempengaruhi sifat fisik dan mekaniknya. Tanah berpasir umumnya memiliki drainase baik, sedangkan tanah lempung memiliki kohesi tinggi namun sensitif terhadap air (Behnood, 2020).

4.2.4 Plastisitas Tanah

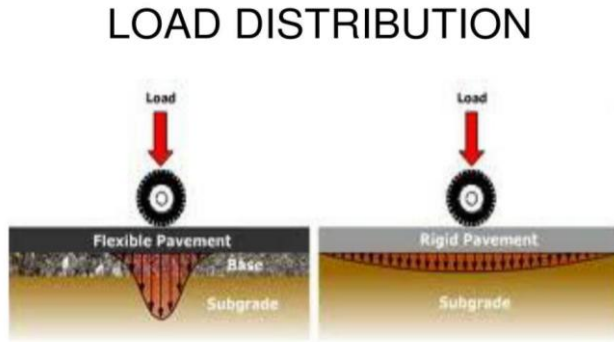
Plastisitas tanah berkaitan dengan kemampuan tanah untuk mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami retak atau pecah, yang umumnya diukur menggunakan batas Atterberg, yaitu batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan indeks plastisitas (*plasticity index*). Tanah dengan plastisitas tinggi, seperti lempung, cenderung mengalami perubahan volume yang signifikan akibat perubahan kadar air, sehingga berpotensi menyebabkan kembang-susut (*swelling-shrinkage*). Kondisi ini dapat menimbulkan kerusakan pada perkerasan jalan, seperti retak dan deformasi permukaan. Oleh karena itu, parameter plastisitas sangat penting dalam mengevaluasi kestabilan tanah dasar terhadap perubahan lingkungan (Das & Sobhan, 2021; Indraratna et al., 2020).

Secara umum, tanah dengan kadar air tinggi, plastisitas tinggi, dan kepadatan rendah cenderung memiliki kinerja yang kurang baik sebagai tanah dasar. Kombinasi dari karakteristik fisik tersebut dapat menyebabkan penurunan kekuatan, peningkatan deformasi, serta potensi kerusakan pada struktur perkerasan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik fisik tanah dasar menjadi dasar dalam menentukan metode perbaikan tanah maupun desain perkerasan yang sesuai.

4.3 Perilaku Tanah Dasar terhadap Beban Lalu Lintas

Perilaku tanah dasar terhadap beban lalu lintas merupakan aspek penting dalam analisis kinerja perkerasan jalan, karena tanah dasar berfungsi sebagai lapisan terakhir yang menerima dan mendistribusikan beban kendaraan. Beban lalu lintas yang bekerja secara berulang (*repeated loading*) akan ditransfer melalui lapisan perkerasan ke tanah dasar dalam bentuk tegangan yang menyebar ke arah vertikal dan horizontal. Distribusi tegangan ini akan semakin berkurang seiring

bertambahnya kedalaman, namun tetap dapat mempengaruhi kondisi tanah dasar terutama pada tanah dengan daya dukung rendah (Huang, 2004; Austroads, 2022).



Gambar 4.3. Distribusi Beban

(Sumber https://www.researchgate.net/figure/Fig-3-Loads-distribution-under-a-rigid-and-flexible-pavement-TSC-2013_fig3_350615789, 2026)

Tegangan yang bekerja pada tanah dasar akibat beban lalu lintas terdiri dari tegangan vertikal dan horizontal yang terjadi secara simultan. Tegangan vertikal berperan dalam menyebabkan penurunan tanah, sedangkan tegangan horizontal berkaitan dengan perubahan bentuk lateral tanah. Kombinasi kedua tegangan ini menghasilkan respons deformasi yang kompleks pada tanah dasar. Pada tanah granular, distribusi tegangan cenderung lebih merata, sedangkan pada tanah kohesif seperti lempung, tegangan dapat terlokalisasi dan menyebabkan deformasi yang lebih besar (Rahman et al., 2020; Das & Sobhan, 2021).

Selain tegangan, tanah dasar juga mengalami deformasi akibat pembebanan, yang terbagi menjadi deformasi elastis dan plastis. Deformasi elastis bersifat sementara, dimana tanah dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Sebaliknya, deformasi plastis bersifat permanen dan tidak dapat kembali seperti kondisi awal. Pada kondisi pembebanan berulang, sebagian deformasi plastis akan terakumulasi menjadi regangan permanen yang dikenal sebagai *rutting* pada permukaan jalan. Fenomena ini

menjadi salah satu bentuk kerusakan utama pada perkerasan fleksibel (Lekarp et al., 2000; Nguyen & Mohajerani, 2021).

Perilaku tanah dasar terhadap beban lalu lintas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis tanah, tingkat kepadatan, dan kondisi lingkungan. Tanah dengan gradasi baik dan kepadatan tinggi umumnya memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi. Sebaliknya, tanah lempung dengan kadar air tinggi cenderung mengalami penurunan kekuatan dan peningkatan deformasi. Faktor lingkungan seperti curah hujan dan sistem drainase juga berperan penting karena dapat meningkatkan kadar air tanah, yang pada akhirnya menurunkan modulus elastisitas dan daya dukung tanah dasar (Kementerian PUPR, 2020; Indraratna et al., 2020).

Dengan demikian, analisis perilaku tanah dasar terhadap beban lalu lintas perlu mempertimbangkan interaksi antara distribusi tegangan, jenis deformasi, serta pengaruh lingkungan. Pemahaman yang komprehensif terhadap aspek ini sangat penting dalam merancang struktur perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas secara berkelanjutan dan meminimalkan potensi kerusakan selama umur layanan jalan.

4.4 Ruang Lingkup Keselamatan dan Rekayasa Kerja

Parameter desain tanah dasar merupakan faktor penting dalam perencanaan struktur perkerasan jalan karena menentukan kemampuan tanah dalam menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas. Parameter ini berpengaruh langsung terhadap tebal lapisan perkerasan dan umur layan jalan. Dua parameter utama yang umum digunakan adalah California Bearing Ratio (CBR) dan Modulus Resilien (Mr).

4.4.1 Nilai CBR vs Modulus Resilien (Mr)

California Bearing Ratio (CBR) adalah parameter empiris yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah berdasarkan perlawanan terhadap penetrasi beban statis. Parameter ini telah lama digunakan dalam desain perkerasan konvensional karena kemudahan pengujian dan interpretasinya (Das, 2021).

Sebaliknya, Modulus Resilien (Mr) merupakan parameter mekanistik yang menggambarkan perilaku elastis tanah dasar

terhadap beban berulang akibat lalu lintas. Mr lebih representatif dalam menggambarkan kondisi aktual di lapangan karena memperhitungkan respon dinamis tanah (AASHTO, 1993).

Perbedaan utama antara CBR dan Mr adalah bahwa CBR bersifat empiris dan statis, sedangkan Mr bersifat mekanistik dan dinamis. Oleh karena itu, pendekatan desain modern cenderung menggunakan Mr, meskipun CBR masih digunakan terutama di negara berkembang (Yoder & Witczak, 1975).

4.4.2 Korelasi Empiris (CBR–Mr)

Karena pengujian Modulus Resilien relatif lebih kompleks dan mahal, sering digunakan hubungan empiris untuk mengonversi nilai CBR menjadi Mr. Salah satu hubungan yang paling umum digunakan adalah:

$$Mr = 1500 \times CBR \text{ (psi)}$$

atau dalam satuan SI:

$$Mr \text{ (MPa)} \approx 10 \times CBR$$

Hubungan ini pertama kali dikembangkan oleh Heukelom dan Klomp dan banyak digunakan dalam praktik rekayasa jalan (Heukelom & Klomp, 1962).

4.4.3 Parameter Desain Menurut Bina Marga

Dalam pedoman Bina Marga, parameter utama yang digunakan dalam desain tanah dasar adalah nilai CBR. Nilai ini diperoleh dari hasil pengujian laboratorium maupun lapangan, kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan tebal lapisan perkerasan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

Pendekatan Bina Marga menggunakan konsep CBR efektif, yaitu nilai CBR yang mewakili kondisi terburuk di lapangan untuk menjamin keamanan struktur perkerasan.

Klasifikasi tanah dasar berdasarkan nilai CBR secara umum adalah:

CBR < 3% → tanah sangat lunak

CBR 3–6% → tanah lunak

CBR 6–10% → tanah sedang

CBR > 10% → tanah baik

Pendekatan ini bersifat empiris namun praktis dan sesuai untuk kondisi Indonesia yang memiliki keterbatasan data mekanistik.

4.4.4 Parameter Desain Menurut AASHTO

Metode desain perkerasan menurut AASHTO (1993) menggunakan Modulus Resilien (M_r) sebagai parameter utama dalam merepresentasikan kekuatan tanah dasar.

Dalam metode ini, M_r digunakan dalam perhitungan Structural Number (SN) yang menentukan tebal lapisan perkerasan. Selain itu, metode AASHTO juga mempertimbangkan faktor lain seperti reliabilitas, deviasi standar, serta kondisi drainase.

Apabila data M_r tidak tersedia, maka AASHTO memperbolehkan penggunaan korelasi empiris dari nilai CBR sebagai pendekatan (AASHTO, 1993).

Pendekatan ini merupakan bagian dari metode mekanistik-empiris yang menggabungkan teori mekanika dengan data empiris untuk menghasilkan desain yang lebih akurat.

4.4.5 Parameter Desain Menurut Austroads

Metode Austroads menggunakan pendekatan mekanistik dalam desain perkerasan dengan parameter utama berupa modulus elastis tanah dasar (E) yang berkaitan dengan Modulus Resilien.

Hubungan empiris yang umum digunakan adalah:

$$E = 10 \times \text{CBR}$$

(Austroads, 2012).

Selain itu, Austroads juga mempertimbangkan kondisi anisotropi tanah, di mana modulus elastis vertikal dan horizontal dapat berbeda. Pendekatan ini memberikan hasil desain yang lebih realistis terhadap kondisi lapangan.

Metode Austroads dikenal lebih konservatif dan komprehensif karena mempertimbangkan kondisi tegangan, lingkungan, serta variasi sifat tanah dalam desain perkerasan.

4.5 Perbaikan Tanah Dasar (*Soil Improvement*)

Perbaikan tanah dasar (*soil improvement*) merupakan upaya untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik tanah agar mampu

mendukung beban lalu lintas secara optimal. Tanah dasar dengan daya dukung rendah, plastisitas tinggi, atau kondisi jenuh air memerlukan perlakuan khusus agar tidak menyebabkan kerusakan dini pada perkerasan. Metode perbaikan tanah secara umum meliputi stabilisasi tanah, perkuatan, dan perbaikan sistem drainase (Das, 2021).

4.5.1 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah proses meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah dengan mencampurkan bahan tambahan (*stabilizing agents*) untuk memperbaiki sifat teknik tanah seperti kuat geser, plastisitas, dan daya dukung (Ingles & Metcalf, 1972).

1. Stabilisasi Kapur (*Lime Stabilization*)

Stabilisasi menggunakan kapur efektif untuk tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Kapur bereaksi dengan mineral lempung melalui proses reaksi pozzolanik, sehingga meningkatkan kekuatan dan mengurangi plastisitas tanah.

Keunggulan stabilisasi kapur:

- a. Menurunkan indeks plastisitas
- b. Meningkatkan daya dukung (CBR)
- c. Mengurangi kembang-susut tanah

Metode ini umum digunakan pada tanah ekspansif (Little, 1995).

2. Stabilisasi Semen (*Cement Stabilization*)

Stabilisasi dengan semen dilakukan dengan mencampurkan semen portland ke dalam tanah, yang kemudian mengalami reaksi hidrasi dan membentuk struktur yang lebih kaku dan kuat.

Keunggulan:

- a. Meningkatkan kuat tekan dan kekakuan
- b. Cocok untuk berbagai jenis tanah (pasir, lanau, lempung)
- c. Meningkatkan durabilitas terhadap air

Namun, metode ini relatif lebih mahal dibandingkan stabilisasi kapur (Ingles & Metcalf, 1972).

3. Stabilisasi *Fly Ash*

Fly ash merupakan limbah pembakaran batu bara yang memiliki sifat pozzolanik dan dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah.

Keunggulan:

- a. Memanfaatkan limbah industri (ramah lingkungan)
- b. Meningkatkan kekuatan tanah
- c. Mengurangi plastisitas

Fly ash sering digunakan bersama kapur atau semen untuk meningkatkan efektivitas stabilisasi (Kumar & Sharma, 2004).

4.5.2 Perkuatan Tanah (*Soil Reinforcement*)

Perkuatan tanah dilakukan dengan menambahkan material yang memiliki kekuatan tarik tinggi untuk meningkatkan stabilitas tanah dasar.

1. Geotekstil (*Geotextile*)

Geotekstil adalah material sintetis berbentuk lembaran yang digunakan untuk fungsi:

- a. Separasi
- b. Filtrasi
- c. Drainase
- d. Perkuatan

Penggunaan geotekstil dapat mencegah pencampuran antara tanah dasar dengan lapisan agregat serta meningkatkan distribusi beban (Koerner, 2012).

2. Geogrid

Geogrid merupakan material polimer berbentuk jaring dengan bukaan besar yang berfungsi untuk meningkatkan interlocking antara tanah dan agregat.

Keunggulan geogrid:

- a. Meningkatkan kapasitas dukung tanah
- b. Mengurangi deformasi (rutting)
- c. Memperpanjang umur layanan perkerasan

Geogrid sangat efektif digunakan pada tanah lunak (Giroud & Han, 2004).

4.5.3 Drainase Tanah Dasar

Drainase merupakan faktor penting dalam menjaga kinerja tanah dasar. Tanah dengan kadar air tinggi akan mengalami penurunan kekuatan dan peningkatan deformasi.

Sistem drainase bertujuan untuk:

1. Mengurangi kadar air dalam tanah
2. Mencegah akumulasi tekanan air pori
3. Meningkatkan stabilitas tanah dasar

Jenis drainase yang umum digunakan:

1. Drainase permukaan (saluran samping jalan)
2. Drainase bawah permukaan (*subdrain*)
3. Lapisan drainase (*drainage layer*)

Perencanaan drainase yang baik dapat meningkatkan nilai Modulus Resilien dan memperpanjang umur perkerasan (AASHTO, 1993).

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Austroroads. (2012). *Guide to pavement technology: Part 2 – Pavement structural design*. Sydney: Austroroads.
- Austroroads. (2017). *Guide to pavement technology Part 2: Pavement structural design*. Sydney: Austroroads.
- Austroroads. (2022). *Guide to pavement technology Part 2: Pavement structural design*. Sydney: Austroroads.
- Behnood, A. (2020). Soil and aggregate stabilization using sustainable materials: A review. *Transportation Geotechnics*, 25, 100384.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2021). *Principles of geotechnical engineering* (10th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Giroud, J. P., & Han, J. (2004). Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(8), 775–786.
- Heukelom, W., & Klomp, A. J. G. (1962). Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction. *Proceedings of the 1st International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements*.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Indraratna, B., Chu, J., & Rujikiatkamjorn, C. (2015). *Ground improvement case histories*. Oxford: Elsevier.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Balasubramaniam, A. S. (2020). Advanced ground improvement techniques. *Ground Improvement*, 173(2), 55–68.
- Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1972). *Soil stabilization: Principles and practice*. Sydney: Butterworths.
- Kementerian PUPR. (2017). *Manual desain perkerasan jalan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian PUPR. (2020). *Manual desain perkerasan jalan revisi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics* (6th ed.). Bloomington: Xlibris.

- Kumar, S., & Sharma, P. (2004). Effect of fly ash on engineering properties of expansive soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 130(7), 764–767.
- Lekarp, F., Isacsson, U., & Dawson, A. (2000). State of the art. I: Resilient response of unbound aggregates. *Journal of Transportation Engineering*, 126(1), 66–75.
- Little, D. N. (1995). *Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime*. National Lime Association.
- Nguyen, H., & Mohajerani, A. (2021). Resilient modulus prediction models for subgrade soils. *Road Materials and Pavement Design*, 22(6), 1345–1362.
- Rahman, M. M., & Erlingsson, S. (2015). Characterizing subgrade soil behavior for pavement design. *Road Materials and Pavement Design*, 16(2), 345–361.
- Rahman, M. M., Erlingsson, S., & Ahmed, A. (2020). Characterization of subgrade soil for pavement design under repeated loading. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(9), 1123–1135.
- Uzan, J. (1992). Characterization of granular material. *Transportation Research Record*, 1354, 52–59.
- White, D. J., Vennapusa, P. K. R., & Gieselman, H. (2021). Subgrade performance and design considerations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 147(5), 1–12.
- Yoder, E. J., & Witczak, M. W. (1975). *Principles of pavement design* (2nd ed.). New York: Wiley.

BAB 5

MATERIAL AGREGAT UNTUK PERKERASAN JALAN

5.1 Konsep Dasar Material Agregat

Perkerasan jalan merupakan struktur yang terdiri dari lapisan material menggunakan kombinasi agregat, baik dengan maupun tanpa bahan pengikat, yang dirancang untuk mendukung beban lalu lintas, sehingga dapat mengurangi tekanan maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Oleh karena itu, pemilihan material untuk perkerasan jalan sangat vital agar kualitas perkerasan tetap sejalan dengan estimasi umur rencana jalan (Hadijah & Sriharyani, 2022).

Agregat untuk perkerasan jalan memiliki ukuran butir yang bervariasi, terdiri dari batu pecah besar, kerikil, pasir, dan abu batu yang sangat halus. Agregat adalah komponen krusial dalam konstruksi perkerasan jalan, baik pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku, yang digunakan dalam berbagai lapisan jalan, mulai dari lapis pondasi bawah (subbase), lapis pondasi atas (base), hingga lapisan aus.

Dalam campuran perkerasan beraspal, agregat dapat mencapai sekitar 90–95% dari total berat campuran, sedangkan pada perkerasan kaku, agregat dapat mencapai sekitar 70–80% dari volume campuran. Besarnya proporsi agregat tersebut menunjukkan bahwa kualitas agregat sangat menentukan kinerja struktur perkerasan jalan, dan meminimalkan penyusutan perkerasan, (H. A. Susanto, 2020). Sebagai contoh, pada campuran aspal jenis AC-WC yang berfungsi sebagai lapisan teratas pada struktur jalan yang langsung bersentuhan dengan ban kendaraan. Lapisan ini dirancang untuk menahan variasi cuaca, gaya lateral, dan tekanan roda, serta berperan sebagai pelindung kedap air bagi lapisan di bawahnya (Noviyanthi et al., 2023). Pemilihan material agregat untuk aspal beton AC-WC sangat penting, karena kinerja lapisan pada dasarnya

ditentukan oleh tipe dan kualitas bahan penyusunnya (Bina Marga, 2018; Kab et al., 2024).

Dalam praktik rekayasa jalan, pemahaman terhadap sifat agregat tidak hanya terbatas pada ukuran butir atau jenis batuanannya, tetapi juga mencakup sifat fisik, mekanik, dan kimia yang mempengaruhi interaksi agregat dengan bahan pengikat seperti aspal. Sehingga, pemahaman mengenai klasifikasi dan karakteristik agregat menjadi penting untuk memastikan pemilihan material yang tepat dalam desain dan pelaksanaan konstruksi jalan.

5.2 Sifat Fisik Agregat

Kualitas dan karakteristik agregat dalam konstruksi jalan dipengaruhi oleh sifatnya. Untuk memastikan *interlock* yang baik dalam campuran, agregat harus keras, bersih, tahan cuaca, dan berbentuk tajam. Oleh karena itu, berbagai sifat agregat, seperti gradasi dan ukuran butir, bentuk butir, tekstur permukaan, berat jenis, porositas dan penyerapan air, kekerasan dan kekekalan, kebersihan, dan berat isi agregat, harus diuji untuk memastikan kualitas agregat sebagai bahan perkerasan jalan.

5.2.1 Gradasi dan Ukuran Partikel Agregat

Menurut SNI 8129:2015, agregat adalah campuran batu yang pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya yang berasal dari alam atau buatan. Agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

1. Agregat Kasar

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2025, fraksi agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) dalam keadaan basah yang harus bersih, keras, dan tahan lama serta tidak tercemar oleh tanah liat. Agregat berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi stabil, sedangkan agregat kasar dengan bentuk butiran bulat lebih mudah dipadatkan namun kurang stabil.

Dalam proyek pembangunan jalan, agregat mengalami beberapa proses seperti pecahan, erosi yang disebabkan oleh cuaca, serta keausan karena adanya lalu lintas kendaraan. Oleh karena itu, agregat dengan tingkat keausan yang tinggi tidak diperbolehkan karena akan mudah hancur saat proses

pemadatan atau akibat beban lalu lintas, sehingga dapat menyebabkan terbentuknya butiran yang halus dan lemah.

2. Agregat Halus

Agregat halus dapat berasal dari berbagai jenis bahan, terdiri dari pasir atau hasil saringan batu pecah yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus mampu meningkatkan kestabilan campuran melalui penguncian antar butiran dan mengisi celah di antara butir. Bahan ini dapat terdiri dari kerikil pecah atau pasir alami atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus harus tidak mudah retak atau hancur akibat kondisi cuaca dan tidak boleh mengandung tanah liat serta bahan organik, karena akan berpengaruh pada kualitas campuran.

Fungsi utama agregat halus adalah menyediakan stabilitas serta mengurangi deformasi permanen pada perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan di antara butiran. Untuk hal ini, sifat eksternal yang dibutuhkan adalah sudut bentuk (*angularity*) dan kekasaran permukaan partikel (*particle surface roughness*). Agregat halus harus terdiri dari bahan yang bersih, keras, dan bebas dari lempung atau material yang tidak diinginkan lainnya.

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah agregat kecil yang dapat melewati saringan No. 200, berupa debu atau memiliki ukuran partikel di bawah 0,075 mm. *Filler* digunakan dalam campuran aspal untuk mengisi celah-celah di dalam campuran, meningkatkan daya rekat antara aspal dan agregat, serta memperkuat stabilitas campuran aspal beton.

Proses pengisian *filler* dilakukan dengan cara yang teratur, karena terlalu banyak bahan pengisi filler dalam campuran bisa membuat aspal beton menjadi sangat kaku dan mudah retak, meskipun aspal sudah ditambahkan cukup banyak untuk menjaga kelenturan. Di sisi lain, jika *filler* kurang, campuran akan menjadi terlalu elastis sehingga mudah berubah bentuk karena berat kendaraan dan menghasilkan permukaan jalan yang tidak rata.

5.2.2 Bentuk dan Struktur Agregat

Bentuk partikel agregat mengacu pada ukuran standar agregat, yang sangat dipengaruhi oleh ukuran agregat utama dalam gradasi agregat tertentu. Secara umum, karakteristik bentuk partikel agregat ditentukan oleh dua kualitas yang tidak saling berhubungan, yaitu kebulatan atau ketajaman sudut dan rasio antara luas permukaan dan volume partikel. Bentuk dan tekstur permukaan agregat memengaruhi stabilitas campuran serta kemampuan agregat untuk terikat dengan bahan pengikat. *British Standard Institution (1975)* mengklasifikasikan bentuk-bentuk agregat ke dalam enam kategori, yaitu bulat (*rounded*), tidak beraturan (*irregular*), bersudut (*angular*), pipih (*flaky*), lonjong (*elongated*), serta pipih dan lonjong (*flaky dan elongated*) seperti yang diuraikan di bawah ini:

1. Agregat Bulat (*rounded*): Agregat yang ditemukan di sungai biasanya sudah tererosi oleh aliran air, sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat bersentuhan satu sama lain pada area kontak yang kecil, menghasilkan daya *interlocking* yang lebih rendah dan memudahkan proses tergelincir.
2. Agregat bersudut: Agregat jenis ini memiliki bentuk yang menunjukkan sudut-sudut yang jelas, yang terbentuk di area pertemuan permukaan yang kasar, sehingga memerlukan lebih banyak bahan pengikat untuk mempermudah prosesnya.
3. Agregat pipih adalah agregat yang ketebalannya lebih dari 0.6 kali ukuran rata-ratanya. Agregat yang berbentuk pipih mudah rusak ketika dicampur, dipadatkan, atau karena tekanan dari kendaraan.
4. Agregat Lonjong (Bulat Panjang): Agregat dianggap panjang jika ukuran terbesarnya lebih dari 9/5 kali ukuran rata-rata. Ukuran rata-rata adalah ukuran ayakan yang mampu meloloskan sebagian butir agregat tetapi tidak mampu meloloskan semua butirnya. Tipe agregat ini akan memberikan pengaruh negatif terhadap kualitas campuran yang akan dibuat.
5. Agregat Tidak Teratur (*Irregular*): Agregat ini tidak memenuhi salah satu kriteria yang telah disebutkan di atas. Gesekan yang terjadi antara partikel-partikel tersebut juga memengaruhi stabilitas dan kapasitas daya dukung dari lapisan permukaan jalan.

6. Agregat pipih dan lonjong (flaky dan elongated): Jenis agregat ini memiliki panjang yang jauh lebih besar dibandingkan lebarnya, sedangkan lebarnya jauh lebih besar dibandingkan tebalnya.

Kategori benda-benda bulat, tidak teratur, serta berbentuk bersudut yang digunakan untuk tujuan tertentu dikelompokkan ke dalam satu kategori yaitu berdimensi seragam (equidimensional atau kuboidal). Sebuah agregat dikategorikan sebagai pipih, lonjong, pipih dan lonjong, atau berdimensi seragam berdasarkan perbandingan antara diameter terpendek, terpanjang, dan rata-ratanya. Berdasarkan standar SNI 03-4137:1996, penggunaan agregat yang memiliki bentuk pipih dan lonjong harus dibatasi maksimal 20 persen.

1. Jika rasio antara diameter rata-rata dengan diameter terpanjang lebih kecil dari 0,55, maka bentuk agregat tersebut termasuk lonjong.
2. Jika selisih antara diameter terkecil dan diameter rata-rata kurang dari 0,60, maka agregat itu diklasifikasikan sebagai bentuk pipih.

Secara umum, tata letak permukaan tersebut sangat berpengaruh terhadap kelancaran dalam melakukan pekerjaan. Permukaan agregat yang lebih halus membuatnya lebih sulit untuk diproses. Berdasarkan tekstur permukaannya, agregat dapat dibagi menjadi beberapa tipe berikut:

1. Agregat yang halus dan bersinar (kaca): Jenis agregat ini membentuk ikatan antar partikel serta lapisan aspal yang kurang kuat, sehingga memerlukan kadar air yang lebih sedikit dibandingkan agregat yang permukaannya kasar.
2. Agregat Berbutir Kasar: Agregat yang memiliki permukaan kasar, di mana gesekan terjadi utamanya pada partikel dengan permukaan kasar, seperti ampelas, sehingga lebih efektif dalam mengurangi deformasi dengan membentuk ikatan antar partikel yang lebih kuat.
3. Agregat yang memiliki permukaan halus akan menciptakan ikatan yang kurang kuat antar partikel agregat dan lapisan aspal.
4. Agregat yang memiliki pori biasanya menyerap aspal dalam jumlah yang lebih banyak, sehingga lapisan aspal yang menutupi agregat menjadi lebih tipis dan membuat ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih lemah serta mempercepat proses

pelepasan ikatan tersebut. Di samping itu, agregat berpori umumnya lebih mudah mengalami kerusakan atau pecah.

5.2.3 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis (*specific gravity*) agregat adalah rasio kepadatan agregat terhadap air. Dalam perencanaan campuran aspal maupun beton, sangat penting, dimana nilai pada umumnya berkisar 2,5–3,0, dengan rata-rata 2,68. Dalam menentukan berat total struktur dan kepadatan campuran, umumnya terbagi menjadi berat jenis bulk, SSD (*Saturated Surface Dry*), *Apparent*, serta penyerapan (*absorpsi*) air, sesuai standar seperti ASTM C127.

1. *Bulk Specific Gravity*

Merupakan perbandingan antara massa agregat kering (yang mencakup pori-pori dalam partikel) dan massa air dengan volume yang setara pada suhu standar, umumnya digunakan dalam teknik sipil untuk campuran aspal. Nilai berat jenis *bulk* ini tidak memiliki dimensi (tanpa satuan) dan biasanya dihitung dalam keadaan kering oven atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

2. Berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*)

Berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*) adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan jenuh air tetapi permukaan kering terhadap berat air suling dengan volume yang setara. Ini menilai kepadatan agregat yang mencakup pori-pori terisi air, digunakan dalam campuran beton atau aspal. Dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) partikel agregat berada dalam kondisi jenuh air, namun tidak ada air bebas di permukaan. Berat jenis SSD lebih tinggi daripada berat jenis curah (*bulk*) karena memasukkan volume air yang diserap ke dalam pori-pori agregat. Pengujian Berat jenis SSD penting untuk memprediksi penyerapan air, yang jika terlalu tinggi (di atas 2% menurut beberapa standar) dapat menurunkan kualitas campuran.

3. *Apparent Specific Gravity* (Berat jenis semu)

Berat jenis semu agregat adalah perbandingan antara massa agregat kering oven (partikel padat) dan massa air suling dengan volumenya yang setara, dengan mengabaikan volume pori yang dapat menyerap air (pori permeabel). Ini mengukur kepadatan bagian batuan yang benar-benar padat, umumnya memberikan nilai tertinggi dibanding bulk SG. Pori yang permeabel terhadap air (pori terbuka) tidak dihitung dalam volume, sehingga *apparent SG*

lebih tinggi daripada Bulk SG atau SSD SG. Tujuan pengujian berat jenis semu dalam perhitungan campuran beton atau aspal adalah untuk menentukan volume absolut agregat padat, dan sering kali untuk mengevaluasi kualitas agregat.

5.2.4 Porositas dan Penyerapan Air (*Absorption*)

Porositas agregat adalah jumlah rongga (pori) di dalam partikel agregat, yang menentukan kemampuannya menyerap air (penyerapan/*absorption*). Agregat harus rendah porositas agar tidak menyerap banyak air semen, yang dapat mengurangi ketahanan terhadap beku-cair. Penyerapan diukur sebagai persentase berat air yang terserap ke dalam pori-pori saat mencapai kondisi kering permukaan jenuh (SSD). Pengujian porositas sangat penting untuk pembuatan campuran aspal maupun beton karena Penyerapan yang tinggi akan menyebabkan aspal atau air semen terserap ke dalam agregat. Semakin tinggi porositas, semakin besar kemampuan agregat menyerap air (penyerapan tinggi), yang dapat mengurangi keandalan ikatan dengan aspal atau semen.

5.2.5 Kekerasan (*hardness*) dan kekekalan (*soundness*)

Kekerasan (*hardness*) dan kekekalan (*soundness*) adalah Kemampuan menahan beban (kekuatan mekanik) dan tidak hancur oleh cuaca (terik matahari/hujan). Ini adalah dua sifat fisik agregat kasar yang sangat penting dalam menentukan daya tahan (*durability*) dan kekuatan beton atau aspal. Keduanya memastikan agregat tidak hancur atau terurai selama proses konstruksi maupun saat struktur beroperasi.

1. Kekerasan Agregat (*Hardness/Abrasion*)

Kekerasan agregat mengacu pada ketahanan agregat terhadap gesekan, keausan (abrasi), dan benturan yang dapat menyebabkan agregat pecah menjadi butiran yang lebih halus. Pengujian kekerasan sangat penting agar agregat mampu menahan beban mekanis selama proses pencampuran, pengangkutan, penghamparan, dan pemadatan di lapangan. Tujuan pengujian adalah untuk menilai apakah agregat cukup kuat untuk menahan gaya yang terjadi saat penimbunan, penghamparan, dan pemadatan.

2. **Kekekalan Agregat (*Soundness/Durability*)**

Kekekalan agregat mengacu pada ketahanan agregat terhadap pelapukan fisik dan kimia, seperti perubahan cuaca (panas-hujan), beku-cair, atau agresi kimia (seperti reaksi alkali-silika). Agregat yang tidak kekal akan retak atau pecah, *spalling* (terkelupas), atau hancur di dalam beton atau aspal seiring berjalannya waktu. Pengujian kekekalan dilakukan dengan metode *Soundness Test* (SNI 03-3407:1994 atau ASTM C88), dengan menggunakan larutan Natrium Sulfat (Na₂ SO₄) atau Magnesium Sulfat (Mg SO₄). Ringkasan perbedaan kekerasan dan focus ketahanan sebagaimana Tabel 5.1 dan 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.1. Ringkasan Perbedaan Kekerasan dan Kekekalan

Fitur	Kekerasan (<i>Abrasion Resistance</i>)	Kekekalan (<i>Soundness</i>)
Fokus	Ketahanan terhadap Gaya Fisik/Mekanis	Ketahanan terhadap Cuaca/Kimia (Pelapukan)
Tujuan	Mencegah hancur saat pengerjaan/pemadatan	Mencegah pecah/terurai di dalam struktur (jangka panjang)
Uji Utama	Mesin Abrasi Los Angeles (<i>Abrasion Test</i>)	Perendaman Natrium/Magnesium Sulfat
Simulasi	Gesekan dan benturan bola baja	Pembekuan/pelapukan cuaca (kristalisasi)

Tabel 5.2. Ringkasan Perbedaan Fokus Ketahanan

Properti	Fokus Ketahanan	Alat/Media Uji Utama	Standar Relevan
Kekerasan	Mekanis (Beban/Gesekan)	Mesin Los Angeles	SNI 2417:2008
Kekekalan	Cuaca & Kimia	Natrium/ Magnesium Sulfat	SNI 3407:2008

5.2.6 **Kebersihan agregat**

Agregat bersih sangat penting untuk campuran aspal yang kuat, karena kontaminan dapat menghalangi ikatan agregat dengan aspal, mengurangi stabilitas, dan menurunkan durabilitas. Debu, tanah, atau lumpur yang menempel pada permukaan agregat dapat menghalangi ikatan langsung (*bonding*) antara agregat dengan pasta semen atau aspal, mengakibatkan beton mudah retak atau aspal

mudah lepas. Oleh karena itu penting untuk dilakukan pembersihan (pencucian) agregat kasar dan halus sebelum proses pencampuran sehingga agregat bebas dari zat organik, tanah, dan partikel lunak. Untuk memastikan kebersihan agregat perlu beberapa pengujian laboratorium. Pengujian ini biasanya menggunakan metode pencucian yang diatur dalam SNI ASTM C117:2012. Menurut SNI 03-2834:2000 untuk agregat halus, batas maksimal kadar lumpur (bahan yang lolos saringan No. 200 atau 0,075 mm) yang diizinkan dengan batas maksimal kadar lumpur adalah 5% dari berat kering. Sedangkan untuk agregat kasar dibatasi maksimal 1% dari berat kering. Beberapa spesifikasi mengizinkan hingga 2% jika lumpur tersebut terdiri dari debu hasil pemecahan batu (bukan tanah liat/lempung yang lengket).

5.2.7 Berat Isi (*Bulk Density*)

Berat Isi (*Bulk Density*) adalah menunjukkan kepadatan tumpukan agregat, penting untuk proporsi campuran. Ini adalah perbandingan berat material (agregat halus/kasar) dengan volume totalnya, termasuk volume pori antar butiran, dinyatakan dalam g/cm^3 atau kg/m^3 . Nilai ini penting untuk konversi satuan berat ke volume dalam campuran. Terdapat dua jenis, yaitu berat isi gembur (kondisi curah alami) dan berat isi padat (kondisi setelah dipadatkan dengan tusukan/getaran). Standar dan Prosedur Pengujian umumnya mengacu pada SNI-03-4804:1998 atau ASTM C-29.

5.3 Sifat mekanik agregat

Agregat yang digunakan dalam konstruksi jalan, baik untuk lapisan dasar, lapisan fondasi dan lapisan permukaan yang kaku atau lentur, harus cukup kuat untuk menahan beban benturan yang ditimbulkan oleh lalu lintas. Oleh karena itu kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus dan durabilitas sangat menentukan kualitas campuran aspal. Agregat dengan sifat mekanik baik memastikan ikatan yang optimal antara agregat dengan aspal sehingga dapat menahan beban struktural, serta tahan terhadap cuaca dan degradasi. Pengujian kekuatan biasanya mencakup nilai hancur (*crushing value*) dan abrasi (abrasi Los Angeles).

5.3.1 Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan (*Strength*) adalah kemampuan agregat menahan beban tekan tanpa hancur. Agregat yang digunakan dalam konstruksi jalan, terutama pada lapisan permukaan, akan mengalami penghancuran, tegangan, dan keausan yang disebabkan oleh beban lalu lintas statis dan dinamis. Oleh karena itu, agregat yang digunakan dalam konstruksi jalan harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan, penghancuran, keausan, dan kerusakan yang ditimbulkan.

Pengujian kekuatan hancur agregat diwakili oleh nilai hancur agregat (*aggregate crushing value/ACV*). ACV adalah resistensi terukur yang diberikan oleh agregat terhadap beban tekan/hancur yang diterapkan secara bertahap. Semakin rendah nilai ACV, maka semakin kuat agregat tersebut dalam menahan beban, karena hanya sedikit bagian yang hancur menjadi butiran halus selama pengujian. Nilai kekuatan penghancuran agregat untuk lapisan permukaan aspal pada jalan dibatasi hingga 30%.

Keausan agregat (abrasi) adalah tingkat kerusakan atau pecahnya agregat kasar akibat gaya mekanis dan kimiawi, yang diukur sebagai persentase berat bahan yang aus dibandingkan berat semula menggunakan percobaan Abrasi Los Angeles (*Abrasion Los Angeles Test*) sesuai SNI 2417:2008 yang mengadopsi standar internasional seperti ASTM C 131 atau AASHTO T96-77(1982).

5.3.2 Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan (*Toughness*) merupakan daya tahan agregat terhadap beban kejut atau benturan mendadak (*impact*). Agregat tangguh penting untuk jalan raya yang menerima beban dinamis sehingga agregat yang tangguh tidak akan mudah pecah saat proses pemadatan di lapangan. Ketangguhan agregat menggambarkan ketahanan agregat terhadap beban yang tiba-tiba diberikan atau beban benturan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai benturan agregat yang merupakan ukuran ketahanan agregat terhadap beban benturan. Uji nilai dampak agregat dapat dilakukan sesuai dengan *Aggregate Impact Value* (AIV) yang dapat mengukur ketangguhan terhadap benturan. Batasan nilai AIV berdasarkan standar umum, agregat diklasifikasikan sesuai Tabel 5.3 sebagai berikut:

Tabel 5.3 Batasan Nilai *Aggregate Impact Value* (AIV)

Nilai AIV (%)	Klasifikasi / Kegunaan
< 10%	Sangat kuat (<i>Exceptionably strong</i>)
10% – 20%	Kuat (<i>Strong</i>)
20% – 30%	Memadai untuk permukaan jalan (<i>Satisfactory for road surfacing</i>)
> 35%	Terlalu lemah untuk lapisan aus jalan (<i>Too weak for wearing course</i>)

5.3.3 Kelekatan terhadap Aspal/Semen (*Adhesion*)

Kelekatan terhadap Aspal/Semen (*Adhesion*): Kemampuan permukaan agregat untuk mengikat bahan pengikat secara kuat. Sifat ini dipengaruhi oleh tekstur permukaan; agregat yang kasar biasanya memiliki kelekatan yang lebih baik daripada yang halus. Agregat yang digunakan dalam konstruksi perkerasan aspal fleksibel harus memiliki afinitas yang lebih rendah terhadap air dan afinitas yang lebih tinggi terhadap bitumen, hal ini mencegah pengelupasan lapisan bitumen dari permukaan agregat. Daya lekat bitumen pada agregat dapat ditentukan dari uji perendaman statis. Dalam uji ini, agregat sampel terlebih dahulu dilapisi bitumen secara menyeluruh. Agregat yang telah dilapisi kemudian direndam dalam air yang dijaga pada suhu 40°C selama 24 jam. Setelah 24 jam berlalu, tingkat pengelupasan bitumen ditentukan melalui inspeksi visual. Nilai maksimum pengelupasan tidak boleh melebihi 5% seperti yang direkomendasikan oleh IRC.

5.4 Bahan Agregat Untuk Konstruksi Fondasi Jalan

Lapis dasar agregat merupakan elemen penting dalam pembangunan jalan yang memberikan fondasi yang kokoh dan stabil untuk lapisan permukaan. Agregat, yang terdiri dari material seperti batu pecah, pasir, dan komponen lainnya, memainkan peranan penting dalam mendukung struktur jalan serta menjamin keandalan jalan sepanjang masa pakainya. Dalam konstruksi jalan raya, jenis agregat yang digunakan untuk lapisan pondasi umumnya diklasifikasikan menurut aturan Bina Marga (Direktorat Jenderal Bina Marga), terdapat tiga kelompok utama: Kelas A, Kelas B, dan Kelas C atau S. Agregat yang termasuk dalam Kelas A dipilih untuk digunakan pada lapis pondasi atas (LPA), sementara agregat dari

Kelas B dipakai untuk lapis pondasi bawah (LPB). Agregat di Kelas S/C digunakan untuk bahu jalan yang tidak memiliki lapisan aspal. Syarat-syarat mengenai sifat-sifat dan gradasi agregat untuk lapisan fondasi harus sesuai dengan kriteria yang tercantum dalam Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.4. Gradasi Lapis Fondasi Agregat

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos			
		Lapisan Fondasi Agregat			
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	Kelas C
2"	50		100		
1 ¹ / ₂ "	37,50	100	-	100	
1"	25,00	79 - 85	75 - 95	77 - 89	100
¾"	19,00				
½"	12,50				70 - 80
3/8"	9,50	44 - 58	40 - 75	41 - 66	
No.4	4,75	29 - 44	30 - 60	26 - 54	40 - 50
No.8	2,36				
No.10	2,00	17 - 30	20 - 45	15 - 42	25 - 40
No.40	0,425	7 - 17	15 - 30	7 - 26	15 - 25
No.200	0,075	0 - 5	5 - 15	4 - 16	8 - 14

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

Tabel 5.5. Sifat-Sifat Lapis Fondasi Agregat

Sifat-Sifat		Lapisan Fondasi Agregat			
		Kelas A	Kelas B	Kelas S	Kelas C
Abrasi dari agregat kasar (SNI 2417:2008)	100 putaran	0 – 8%	0 – 8%	0 – 8%	0 – 8%
	500 putaran	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%
Butiran pecah tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)		95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	-
Batas Cair (SNI 1967:2008)		Maks.25	Maks.35	Maks.35	Maks.35
Indeks Plastilitas (SNI 1966:2008)		Maks.6	4 - 10	4 - 15	7 - 13
Hasil kali Indeks Plastilitas dengan % lolos ayakan No. 200		Maks.25	-	-	-

Sifat-Sifat	Lapisan Fondasi Agregat			
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	Kelas C
Gumpalan Lempung dan Butiran-Butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%
CBR Rendaman (SNI 1744:2012)	Min.90%	Min.60%	Min.50%	Min.30%
Perbandingan Lolos Ayakan No.200 dengan No.40	Maks. 2/3	Maks. 2/3	-	-

- 1) 95/90 Menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 1 (satu) atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 2 (dua) atau lebih
- 2) 55/50 Menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 1 (satu) atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 2 (dua) atau lebih

5.5 Bahan Agregat Untuk Campuran Aspal

Aspal berperan sebagai bahan pengikat yang menghubungkan partikel agregat, sehingga membuat permukaan jalan lebih kuat dan mampu menahan daya gesek yang tinggi, yang berdampak positif pada keselamatan berkendara. Tipe campuran aspal utamanya dibedakan berdasarkan penggunaannya, jenis yang sering digunakan antara lain *Stone Matrix Asphalt* (SMA), *Hot Rolled Sheet* (HRS), dan *Asphalt Concrete* (AC).

SMA dibedakan menjadi tiga kategori, yakni SMA tipis, SMA halus, dan SMA kasar. Masing-masing kategori ini memiliki ukuran partikel agregat terbesar yang berbeda, yaitu 12,5 mm untuk SMA tipis, 19 mm untuk SMA halus, dan 25 mm untuk SMA kasar.

Lataston atau HRS terdiri dari dua tipe campuran, yaitu HRS Fondasi (HRS Base) dan HRS Lapis Aus (HRS Wearing Course, HRS-WC), di mana partikel agregat dari masing-masing campuran berukuran 19 mm. HRS Base memiliki proporsi fraksi agregat kasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan HRS-WC.

5.5.1 Persyaratan Agregat untuk Campuran Aspal

Sesuai dengan ketentuan umum dari Bina Marga tahun 2025, agregat besar yang dipakai dalam campuran aspal harus memenuhi kriteria yang ada di Tabel 5.6a hingga Tabel 5.6d sebagai berikut:

Tabel 5.6a. Ketentuan Sifat Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Sifat-sifat Campuran		SMA	SMA Mod.
		Tipis, Halus dan Kasar	Tipis, Halus dan Kasar
Jumlah Tumbukan perbidang		50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0	
Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Maks.	5,0	
Rasio VCAmix/VCA _{drc} ⁽¹⁾	Min.	<1	
Drain down pada tempeartur produksi, % berat dalam campuran waktu 1 jam ⁽²⁾	Maks.	0,3	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	600	750
Pelelehan (mm)	Min.	2	
	Maks.	4,5	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.	90	
Stabilitas Dinamis (lintasan/mm) ⁽⁷⁾	Min.	2500	3000

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

Tabel 5.6b. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (HRS)

Sifat-sifat Campuran		Laston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min.	5,9	5,5
Jumlah Tumbukan perbidang	Min.	50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	600	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.	90	

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

Tabel 5.6c. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston			
		Lapis Aus		Lapis Antara	Lapis Fondasi
Jumlah Tumbukan perbidang		50	75	75	112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6			
	Maks.	1,6			
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0			
	Maks.	5,0			
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15		14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65	65
	Maks.	78	75	75	75
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	550	800	800	1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		2	3
	Maks.	4		4	6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.	90			
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>) ⁽⁶⁾	Min.	-	2	2	2

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

Tabel 5.6d. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi

Sifat-sifat Campuran		Laston Modifikasi	
		Lapis Aus	Lapis Antara
Jumlah Tumbukan perbidang		75	
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6	
	Maks.	1,6	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Maks.	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000	
Pelelehan (mm)	Min.	2	
	Maks.	4	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.	90	

Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>) ⁽⁶⁾		Min.	2
Stabilitas dinamis, lintasan/mm ⁽⁷⁾	PG64V	Min.	3000
	PG64E		5000

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

5.5.2 Fraksi Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar dalam campuran adalah bagian yang tersisa di atas saringan no.4 (4,75 mm) setelah diuji dalam keadaan basah. Bagian ini harus bersih, kuat, dan bebas dari tanah liat atau bahan yang tidak diinginkan, serta harus memenuhi syarat yang ada di Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi

Sifat-Sifat			Metode Pengujian	Persyaratan
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrum Sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		Magnesium Sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los angeles</i>	Campuran AC modifikasi dengan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lain	100 putaran		Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agrgat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}
		Lainnya		95/90 ^{**)}
Partikel pipih dan lonjong		SMA	SNI 8287:2016 perbandingan 1:5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200			SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

Catatan:

*)100/90 Menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 1 (satu) atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 2 (dua) atau lebih

95/90 Menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 1 (satu) atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah 2 (dua) atau lebih

Fraksi agregat kasar yang digunakan untuk penampang dingin dalam campuran aspal harus terbuat dari batu pecah yang dihasilkan oleh mesin dan harus disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran, seperti yang tercantum dalam Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8. Ketentuan Fraksi agregat kasar untuk penampang dingin untuk campuran beraspal

Jenis Campuran	Fraksi agregat kasar penampang dingin (cold bin) minimum yang diperlukan (mm)			
	5-8	8-11	11-16	16-22
<i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)-tipis	Ya	Ya		
<i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)-halus	Ya	Ya	Ya	
<i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)-kasar	Ya	Ya	Ya	Ya
	5-10	10-16	16-22	22-30
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Fondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Fondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

(Sumber : Spesifikasi Umum Untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan Bina Marga, 2025)

Agregat kasar harus memenuhi sifat angularitas yang tercantum dalam Tabel 5.8. Angularitas didefinisikan sebagai persentase berat agregat yang berukuran lebih besar dari 4,75 mm dan memiliki satu atau lebih bidang pecah, sesuai dengan uji yang tercantum dalam SNI 7619:2012.

5.5.3 Agregat Halus

Fraksi agregat halus merupakan pasir atau produk pengayakan batu pecah yang melewati saringan nomor 4 (4,75mm). Pasir alam dapat dimanfaatkan sebagai campuran AC hingga batas maksimum 15 %. Agregat halus harus terbuat dari bahan yang bersih, keras, dan tidak mengandung lempung atau bahan lain yang tidak diinginkan, serta memenuhi ketentuan yang tercantum pada Tabel 5.9 di bawah ini:

Tabel 5.9. Ketentuan Agregat Halus

Sifat-Sifat		Metode Pengujian	Persyaratan
Nilai Setara Pasir		SNI 03-4428-1997	Min. 60%
<i>Methylene blue value</i> ⁽¹⁾	(MB):fraksi 0/2mm	ASTM C837-09(2009)	< 2
	(MB _F):fraksi 0/0,125mm		< 10
Uji kadar rongga tanpa pemadatan		SNI 03-6877-2002	Min 45
Gumpalan lempung dan butir-butir muda pecah dalam agregat		SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:20212	Maks. 10%

- 1) Agregat halus yang berasal dari batu kapur (limes stone) dengan *methylene blue value* (MBF) dluar ketentuan table 5.10 dapat diterima asalkan agregat halus tersebut bebas dari fraksi lempung sesuai dengan SNI 3423-2008

5.5.4 Bahan Pengisi (*Filler*) Dalam Campuran Aspal

Bahan pengisi yang digunakan (*filler used*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang memenuhi AASHTO M303-89(2014) atau semen atau abu terbang tipe C dan F. Jenis bahan pengisi semen hanya diperbolehkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat aspal pen.60/70.

Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan, dan saat diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012, harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75 %.

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) untuk semen harus berkisar antara 1% hingga 2% dari berat total agregat, sedangkan untuk bahan pengisi lainnya harus antara 1% hingga 3% dari berat total agregat, kecuali SMA yang dilarang menggunakan semen.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1982). *Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine (AASHTO T96-77)*. In *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. ASTM C 131 atau
- ASTM C127. "Standart Test Metod for Density, Relatif Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Agregat"
- ASTM C29/C29M – 09. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. 2010. American Society for Testing and Materials International, USA.
- ASTM C88. 2018. *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (1994). SNI 03-3407-1994. *Metode Pengujian Ketahanan Agregat terhadap Larutan Magnesium Sulfat*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4137-1996. *Metode Pengujian Tebal dan Panjang Rata-Rata Agregat*. Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417-2008. *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Badan Standardisasi Nasional.
- Bina Marga. (2019). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 06/SE/Db/2019, 26 Nopember 2019*.
- Bina Marga. (2025). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025, 02 September 2025*.
- British Standard Institution. (1975). *BS 812 Part 3: Method for Determination of Shape of Aggregate*. London: BSI.
- Hadijah, I., & Sriharyani, L. (2022). Analisis Pengujian Marshall Pada Asphalt Concrete-Binder Course Dengan Campuran Lateks.

- TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 109.
<https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2328>
- Kab, B., Jalan, G., & Malino, P. (2024). *Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton*. 1423–1432
- Noviyanthi, S. M., Raidyarto, A., & Riswanto, S. (2023). Pengaruh Perendaman Air Laut Terhadap Stabilitas Campuran Ac-Wc Menggunakan Agregat Koya Kota Jayapura. *Cyclops Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*.
<https://scholar.archive.org/work/qaxq6lbwu5hvvktvatcmeqmdee/access/wayback/http://www.jurnal.uniyap.ac.id/uyap/index.php/cjtsp/article/download/484/422>
- Standar Nasional Indonesia. (1998). SNI 03 4804-1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008). SNI 3407-2008, *Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat dengan Cara Perendaman menggunakan Larutan Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2012). SNI ASTM C136-2012 . *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*". Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Standar Nasional Indonesia. (2015). SNI 8129-2015. *Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Susanto, H. A. (2020). *Pengaruh Penggunaan Filler Pasir Besi Dan Semen Dalam Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(1), 37.
<https://doi.org/10.30595/techno.v21i1.7230>

BAB 6

ASPAL DAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF

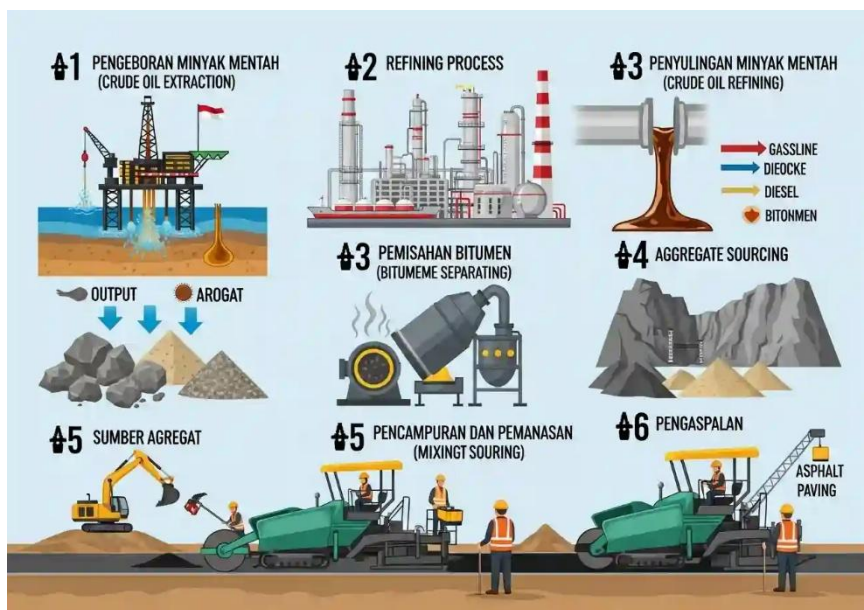
6.1 Fundamental Aspal Konvensional

Aspal minyak (*petroleum asphalt*) tergolong sebagai fraksi berat yang diperoleh dari proses pengolahan minyak bumi. Secara alami, aspal berasal dari endapan bahan organik purba, utamanya plankton dan alga, yang mengalami proses diagenesis dan katagenesis selama jutaan tahun dalam kondisi tekanan serta suhu tinggi. Meskipun demikian, aspal yang lazim dipakai dalam pekerjaan konstruksi bukanlah aspal alam, melainkan residu dari proses distilasi minyak bumi.

Di dalam minyak bumi, aspal berada dalam bentuk senyawa bermolekul besar yang dikenal sebagai asphaltene dan maltene. Kadar aspal dalam minyak mentah berbeda-beda tergantung pada lokasi sumber minyak tersebut. Minyak dengan karakter aspaltenik, misalnya yang berasal dari Timur Tengah dan Venezuela, memiliki kandungan calon aspal yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak yang bersifat parafinik.

Produksi aspal minyak dilakukan melalui proses distilasi bertingkat di kilang minyak. Tahap pertama adalah distilasi atmosferik, di mana minyak mentah dipanaskan dalam tungku hingga suhu sekitar 350–400°C, lalu dialirkan ke kolom distilasi atmosferik. Pada tahap ini, fraksi ringan seperti LPG, bensin, nafta, kerosin, dan solar menguap dan keluar dari bagian atas kolom, sementara fraksi berat (residu atmosferik) keluar dari dasar kolom. Residu inilah yang menjadi bahan baku aspal, meskipun masih mengandung minyak berat. Selanjutnya, residu atmosferik dipanaskan kembali dan dimasukkan ke kolom distilasi vakum yang bertekanan jauh di bawah atmosfer. Dengan tekanan rendah, titik didih fraksi berat dapat diturunkan, sehingga minyak pelumas dan

bahan bakar berat dapat dipisahkan tanpa merusak molekul aspal. Hasil dasar kolom vakum adalah aspal keras (dengan nilai penetrasi rendah hingga sedang) yang siap dipasarkan atau diproses lebih lanjut. Untuk menghasilkan aspal dengan titik lembek tinggi (aspal oksidasi), dapat dilakukan proses lanjutan berupa blowing atau oksidasi, yaitu dengan mengalirkan udara panas pada suhu 200–300°C ke dalam residu vakum. Proses ini meningkatkan berat molekul dan kekentalan aspal.



Gambar 6.1. Proses Produksi Aspal

(Sumber : <https://jasaperbaikanjalan.my.id/aspal-terbuat-dari/>)

Berdasarkan bentuk dan sifat pengerasannya, aspal minyak dibagi menjadi tiga kelompok utama. Pertama, aspal keras (*asphalt cement* atau *penetration grade*) yang berwarna hitam padat pada suhu ruang dan bersifat termoplastis. Aspal jenis ini dinilai berdasarkan nilai penetrasi (0,1 mm) pada suhu 25°C, dengan kadar penetrasi umumnya antara 40–300. Aspal keras digunakan sebagai bahan utama campuran aspal panas (*hot mix*) yang memerlukan pemanasan 140–160°C untuk dapat dicampur dengan agregat. Contohnya adalah Aspal Pen 60/70 yang menjadi standar jalan raya

Indonesia, serta Pen 80/100. Kedua, aspal cair (*cutback asphalt*) merupakan aspal keras yang dicairkan dengan pelarut minyak bumi seperti kerosin, bensin, atau minyak tanah. Berdasarkan kecepatan penguapan pelarutnya, aspal cair digolongkan menjadi tiga jenis: *Rapid Curing* (RC) dengan pelarut bensin yang cepat mengeras, *Medium Curing* (MC) dengan pelarut kerosin yang memiliki kecepatan sedang, serta *Slow Curing* (SC) dengan pelarut minyak berat yang lambat mengeras. Aspal cair digunakan untuk lapis permukaan tanpa pemanasan (*prime coat, tack coat*) atau campuran dingin (*cold mix*). Ketiga, emulsi aspal (*asphalt emulsion*) adalah aspal keras yang dipecah menjadi butiran kecil berukuran mikrometer dan tersuspensi dalam air dengan bantuan emulsifier seperti sabun atau surfaktan. Berdasarkan muatan butirannya, emulsi aspal dibedakan menjadi emulsi kationik (muatan positif) yang melekat baik pada agregat bermuatan negatif dan umum digunakan di jalan raya, emulsi anionik (muatan negatif), serta emulsi nonionik. Keunggulan emulsi aspal antara lain tidak memerlukan pemanasan sehingga hemat energi, aman dari kebakaran, dan ramah lingkungan. Penggunaannya meliputi *slurry seal, fog seal, micro surfacing*, dan *tack coat*.

6.2 Karakteristik dan Pengujian Aspal untuk Evaluasi Kinerja

Aspal memiliki karakteristik fisik fundamental sebagai pengikat dalam campuran beraspal. Setiap karakteristik fisik diuji di laboratorium sesuai standar yang digunakan. Evaluasi kinerja perkerasan menilai dari setiap aspek baik kinerja secara terpisah (non-komprehensif) maupun secara menyeluruh (komprehensif)

6.2.1 Karakteristik Fisik Aspal

Karakteristik fisik aspal merupakan sifat-sifat yang dapat diukur secara langsung melalui pengujian laboratorium standar (SNI, ASTM, atau AASHTO). Sifat-sifat ini menjadi dasar spesifikasi teknis dalam pemilihan aspal untuk berbagai keperluan konstruksi, terutama campuran beraspal panas (*hot mix*), lapis perekat, serta campuran dingin. Persyaratan aspal dapat dilihat pada Tabel 6.1. Karakteristik fisik aspal pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. Penetrasi (*Penetration*)

Definisi: Kedalaman penetrasi jarum standar (dalam satuan 0,1 mm) ke dalam sampel aspal pada kondisi suhu 25°C, dengan beban total 100 gram selama 5 detik (BSN, 2011c).

Standar uji: SNI 2456:2011 (Cara uji penetrasi aspal).

2. Titik Lembek (*Softening Point*)

Definisi: Suhu (°C) di mana aspal berubah dari bentuk semi-padat menjadi cair dengan tingkat kekentalan tertentu. Uji dilakukan dengan metode *Ring and Ball* (cincin kuningan berisi aspal dipanaskan, bola baja diletakkan di atasnya, suhu saat aspal melunak menyentuh pelat bawah dicatat) (BSN, 2011a).

Standar uji: SNI 2434:2011 (Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (*ring and ball*)).

3. Daktilitas (*Ductility*)

Definisi: Kemampuan aspal untuk meregang (dalam sentimeter) sebelum putus pada kondisi suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Sampel aspal dituang dalam cetakan berbentuk "briket" (*dog bone*) (BSN, 1991).

Standar uji: SNI 06-2432-1991 (Metode pengujian daktilitas bahan-bahan aspal).

4. Titik Nyala (*Flash Point*) dan Titik Bakar (*Fire Point*)

Definisi: Suhu terendah di mana uap aspal menyulut api sesaat ketika didekatkan dengan nyala api uji.

Standar uji: SNI 2433:2011 (Cara uji titik nyala dan titik bakar aspal dengan alat *cleveland open cup*).

5. Kelarutan dalam Trichloroethylene (TCE) (*Solubility*)

Definisi: Persentase berat aspal yang larut dalam pelarut *trichloroethylene* (atau karbon disulfida) (BSN, 2015a).

Standar uji: SNI 2438:2015 (Cara uji kelarutan aspal)

6. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Definisi: Perbandingan antara massa aspal pada suhu 25°C dengan massa air pada volume dan suhu yang sama (BSN, 2011b).

Standar uji: SNI 2441:2011 (Cara uji berat jenis aspal keras)

Tabel 6.1. Persyaratan Aspal (BSN, 2015b)

No	Uraian	Satuan	Metode	Kelas Penetrasi									
				40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
				Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 det	0,1 mm	SNI 2456:2011	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
2	Titik nyala, Cleveland Open Cup	°C	SNI 2434:2011	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-
3	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	cm	06-2432-1991	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
4	Kelarutan dalam TCE	%	SNI 2438:2015	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
5	Titik lembek	°C	SNI 2434:2011	50	-	48	-	46	-	-	-	-	-
6	Berat Jenis	kg/m ³	SNI 2441:2011	1,0	-	1,0	-	1,0	-	-	-	-	-

Sumber: SNI 8135:2015 (Spesifikasi aspal keras berdasarkan kelas penetrasi)

6.2.2 Evaluasi Kinerja Perkerasan

Kinerja perkerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur perkerasan dalam memenuhi kebutuhan sistem transportasi secara layak dalam kurun waktu tertentu. Komponen utama yang menyusun proses kinerja ini meliputi tingkat kenyamanan berkendara (*ride comfort*), tingkat keausan (*wear and tear*), kondisi kerusakan permukaan, serta kapasitas kekuatan struktural (Hu *et al.*, 2022). Kinerja perkerasan jalan umumnya dibedakan menjadi dua klasifikasi yaitu parameter penilaian non-komprehensif dan parameter penilaian komprehensif. Rangkuman kinerja perkerasan jalan untuk setiap klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Pengukuran kinerja perkerasan jalan secara umum (Riaz *et al.*, 2024)

Klasifikasi	Faktor pertimbangan	Pengukuran kinerja perkerasan jalan
Pengukuran kinerja non-kompresif	Kerusakan permukaan	Crack Index (CI) Alligator Deterioration Index (ADI) Pervious Concrete Distress Index (PCDI) Distress Rating (DR) Pavement Structural Condition Index (PSC) Pavement Distress Condition Index (PDCI) Transverse Cracks Rating Index (TCEI) Surface Distress Index (SDI)
	Kualitas berkendara	Ride Quality Index (RQI) Rutting Depth Index (RDI) Rutting Depth (RD) International Roughness Index (IRI)
	Friksi	International Friction Index (IFI) Skidding Resistance Index (SRI)

Klasifikasi	Faktor pertimbangan	Pengukuran kinerja perkerasan jalan
		Skid Number (SN) Sideway Force Coefficient (SFC) Mean Summer SCRIM Coefficient (MSSC)
	Kapasitas struktur	Deflection Pavement Structural Strength Index (PSSI) Surface Curvature Index (SCI) Structural Number (SN)
Pengukuran kinerja kompresif	Surface distresses, ride quality	Urban Pavement Condition Index (UPCI) Pavement Serviceability Rating (PSR) Pavement Serviceability Index (PSI) Pavement Quality Index (PQI) Pavement Condition Rating (PCR) Pavement Condition Index (PCI) Overall Performance Index (OPI) Overall Pavement Condition (OPC) Future Pavement Surface Condition (FPSC) Composite Condition Index (CCI)

Sumber: (Riaz *et al.*, 2024)

6.3 Inovasi Aspal Modifikasi

Infrastruktur perkerasan yang berketahanan (resilien) dan memiliki dampak positif terhadap lingkungan merupakan hal yang sangat penting dalam mengatasi permasalahan lingkungan dan ekonomi. Infrastruktur perkerasan telah memegang peranan penting dalam mendukung laju pertumbuhan ekonomi global yang pesat dalam kurun waktu dekade terakhir (Riaz *et al.*, 2024). Berbagai teori,

metodologi, teknologi, maupun material baru terus berkembang di bidang rekayasa perkerasan. Akibat adanya hubungan antara pola lalu lintas dan faktor-faktor lingkungan, prediksi terhadap *sevice-life* perkerasan menjadi semakin kompleks dan memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai analisis material perkerasan (Chen *et al.*, 2021). Tabel 6.3. menggambarkan beberapa solusi mengenai perkerasan aspal yang berkelanjutan beserta manfaat-manfaat yang ditawarkan.

Tabel 6.3. Solusi aspal berkelanjutan (Riaz *et al.*, 2024)

Kategori	Solusi	Deskripsi	Keuntungan
Solusi aspal berkelanjutan	<i>Warm-Mix Asphalt</i>	Aspal yang dicampur dan dihamparkan pada suhu rendah	Pengurangan konsumsi energi Umur pengaspalan yang lebih lama Peningkatan kondisi kerja
	<i>Recycled Asphalt Pavement (RAP)</i>	Daur ulang aspal lama menjadi campuran baru	Sumberdaya lebih terlindungi Penghematan biaya Dampak lingkungan yang lebih positif
	<i>Bio-Based Binders</i>	Bahan pengikat yang berasal dari sumber energi terbarukan seperti minyak nabati	Kebaruan Emisi lebih rendah Meningkatkan kinerja
Kemajuan Teknologi	Pemadatan Cerdas	Pemadat/ <i>roller</i> canggih yang dilengkapi dengan sensor dan GPS untuk data pemadatan secara <i>real-time</i>	Peningkatan kualitas Efisiensi Data lebih mudah dikumpulkan

Kategori	Solusi	Deskripsi	Keuntungan
	<i>Perpetual Pavement</i>	Pendekatan <i>multi-layer</i> untuk desain perkerasan jalan dengan umur pakai yang sangat panjang	Masa pakai yang lebih lama Minim perawatan Keberlanjutan
	<i>Self-Healing Asphal</i>	Aspal yang dapat memperbaiki diri secara otonom ketika terjadi retakan minor	Meningkatkan masa pakai Biaya lebih hemat Meningkatkan daya tahan
Infrastruktur Cerdas dan Terhubung	<i>Smart Pavements</i>	Perkerasan jalan yang dilengkapi dengan sensor dan sistem komunikasi secara terintegrasi	Pemantauan secara real-time Pemeliharaan dapat diprediksi Peningkatan keselamatan
	Jalan Pengisian Daya Kendaraan Listrik	Perkerasan dengan sistem pengisian daya nirkabel terintegrasi untuk kendaraan listrik	Kemudahan Keberlanjutan
	Jalan Raya Tenaga Surya	Perkerasan dengan panel surya terintegrasi untuk menghasilkan energi terbarukan	Pembangkitan energi Jejak karbon berkurang Inovatif

Kategori	Solusi	Deskripsi	Keuntungan
<i>Advanced Materials</i>	<i>Polymer-Modified Asphalt</i> (PMA)	Aspal yang diperkuat dengan polimer	Kinerja yang ditingkatkan Ketahanan terhadap cuaca Peningkatan kekuatan
	Nanoteknologi dalam Aspal	Penggunaan material berukuran nano untuk meningkatkan sifat aspal	Masa pakai yang lebih lama Memiliki sifat <i>self-healing</i>
	Aspal Geopolimer	Aspal yang menggunakan produk sampingan industri seperti <i>fly ash</i> atau <i>slag</i> sebagai bahan pengikat	Keberlanjutan Dampak positif terhadap lingkungan

Sumber: (Riaz *et al.*, 2024)

Material yang menjadi komponen utama konstruksi perkerasan dalam menentukan karakteristik struktural, mutu perkerasan, serta memiliki peran signifikan terhadap keseimbangan lingkungan, ekonomi, dan sosial. Dalam hal keberlanjutan, pemilihan material diutamakan pada kriteria ramah lingkungan, biaya yang lebih ekonomis, dan pertimbangan terhadap dampak sosial. Pemanfaatan material limbah dan produk sekunder hasil industri merupakan strategi berkelanjutan yang efektif karena mengurangi ketergantungan pada tempat pembuangan akhir, penimbunan stok bahan, serta pembuangan limbah.

Kategori utama material perkerasan khususnya perkerasan lentur yang umum digunakan meliputi material agregat dan material aspal. Mengingat proses produksi material tersebut memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, pendekatan keberlanjutan memberikan alternatif dan solusi untuk mengurangi dampak dari keseluruhan proses tersebut. Namun, terdapat potensi yang

berbanding terbalik dengan kualitas perkerasan, sehingga mutu menjadi aspek penting yang menjadi hal utama. Batasan jumlah penggunaan suatu material juga merupakan persoalan yang sangat krusial, dimana ambang batas tersebut bergantung pada sejumlah parameter dan sering kali ditentukan oleh berbagai standar yang berlaku.

6.3.1 Material Agregat

Material agregat merupakan material dengan persentase terbanyak yang digunakan dalam campuran aspal. Sehingga nilai persentase tersebut menggambarkan bahwa peran material agregat dalam campuran aspal sangatlah penting. Di waktu mendatang diharapkan material agregat yang digunakan dapat bersifat berkelanjutan dengan menggunakan agregat limbah maupun agregat daur ulang. Secara umum material agregat yang dapat digunakan dalam campuran aspal adalah sebagai berikut:

1. *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

Material ini diperoleh dari proses penggilingan panas atau dingin pada lapisan permukaan atas perkerasan aspal. Secara umum, RAP dimanfaatkan untuk lapisan *base* dan *subbase* dengan kadar material hingga 50%, namun tingkat penggunaan yang direkomendasikan umumnya pada rentang antara 15–30%, terutama pada lapisan permukaan, guna menghindari perubahan sifat campuran. Dalam campuran beraspal, penggunaan RAP yang mengikuti rekomendasi persentase yang digunakan dan penanganan awal tidak disarankan karena dapat mempengaruhi kemampuan struktural (Miró *et al.*, 2011; Pradyumna, Mittal and Jain, 2013; Erdem and Blankson, 2014).

2. *Recycled Concrete Aggregate (RCA)*

Material tersebut berasal dari hasil penghancuran beton yang umumnya berasal dari lapisan perkerasan beton. Penggunaan RCA dalam campuran beraspal berkisar antara 25%-50% kadar campuran, penggunaan dengan kadar tertentu memerlukan kadar aspal yang lebih banyak sehingga dapat mempengaruhi biaya (Qasrawi and Asi, 2016; Zhang *et al.*, 2016).

3. *Recycled Asphalt Shingles (RAS)*

Material RAS dapat digunakan sebagai bahan pengikat maupun sebagai pelengkap komponen butiran agregat halus pada campuran beraspal. Pemanfaatan material RAS dapat menjadi strategi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, dimana penggunaan material RAS sejumlah 10% dengan suhu rendah berhasil dikombinasikan (Buss, Cascione and Christopher Williams, 2014).

4. *Steel Furnace Slag (SFS)*

Berasal dari tungku busur listrik (*electric arc furnace/EAF*) atau tungku sembur (*blast furnace/BF*) yang dapat dimanfaatkan sebagai agregat alternatif campuran aspal. Campuran aspal yang menggunakan SFS sebagai material agregat memiliki karakteristik *skid resistance* yang lebih baik, kinerja *fatigue* yang meningkat, serta menunjukkan ketahanan terhadap kerusakan alur (*rutting*) sehingga penggunaan SFS dalam campuran aspal menjadi salah satu opsi untuk struktur perkerasan jalan yang berkelanjutan (Huang, Bird and Heidrich, 2007; Pasetto and Baldo, 2012; Chen and Wei, 2016).

5. *Waste Foundry Sand (WFS)*

Material tersebut merupakan produk sekunder yang dihasilkan dari proses pengolahan baja dan logam yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus secara parsial pada campuran aspal (Van Dam *et al.*, 2015).

6. *Waste Glass (WG)*

Merupakan salah satu alternatif untuk substitusi agregat secara parsial dalam campuran aspal. Kinerja struktural perkerasan dapat meningkat dengan memanfaatkan WG campuran aspal, sehingga kekuatan dan daya tahan juga turut meningkat (Jamshidi *et al.*, 2016). WG mengindikasikan *workability* dan konduktivitas hidrolik yang baik berdasarkan hasil pengujian khusus dan dampak lingkungan yang rendah, sehingga WG dapat menjadi potensi substitusi agregat untuk berbagai aplikasi perkerasan (Disfani *et al.*, 2012).

6.3.2 Material Aspal

Material aspal merupakan komponen dasar perkerasan lentur yang berfungsi pada lapisan permukaan atas untuk memberikan karakteristik penting seperti kehalusan, kekasaran, dan tekstur makro yang berkontribusi pada keselamatan, reduksi kebisingan, serta penurunan emisi gas rumah kaca. Namun, aspal yang berasal dari pemurnian minyak bumi (sumber daya tak terbarukan) menghadapi kenaikan biaya akibat krisis ekonomi, sehingga mendorong perlunya material alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Meskipun substitusi aspal terbatas, berbagai teknologi campuran aspal inovatif dapat mengurangi penggunaan aspal sebagaimana dijabarkan dalam alternatif material dan teknologi aspal berkelanjutan berikut:

1. *Sulfur Extended Asphalt (SEA)*

Campuran aspal dapat menggunakan belerang (*sulfur*) sebagai substitusi sebagian dari aspal konvensional. Belerang dapat ditambahkan dalam campuran aspal hingga 40% dari massa campuran, hal tersebut dapat meningkatkan karakteristik kinerja dari campuran aspal (Strickland *et al.*, 2008). Untuk mengurangi bau dan asap, SEA dicampur pada suhu yang lebih rendah (Van Dam *et al.*, 2015).

2. *Asphalt bio-binders*

Bersumber dari tumbuhan maupun limbah organik yang memiliki karakteristik serupa dengan aspal konvensional (Van Dam *et al.*, 2015). Beberapa contoh bio-binder diantaranya adalah pengikat hayati berbasis mikroalga, asam lemak kedelai, lempung nano organo-montmorilonit (*organo-montmorillonite nanoclay*), minyak hayati (*bio-oils*), dan minyak jelantah (*waste cooking oil*) (TRB, 2012; Aziz *et al.*, 2015). Pemanfaatan bio-binder dalam campuran aspal pada kadar tertentu dapat meningkatkan sifat pencampuran dan bersifat ramah lingkungan (Król *et al.*, 2016).

3. *Warm-Mix Asphalt (WMA)*

Merupakan salah satu teknologi unggulan dalam campuran aspal dengan pemanfaatan aditif khusus seperti pengubah kimia (*chemical modifiers*) atau lilin (*wax*) (Plati, 2019). WMA secara umum memberikan berbagai alternatif pilihan

campuran seperti menggunakan material agregat limbah industri maupun agregat limbah hasil daur ulang, sehingga teknologi tersebut menjadikan WMA sebagai salah satu solusi campuran aspal yang berkelanjutan. WMA memiliki keunggulan berupa kemampuan untuk tetap mudah dikerjakan (*workable*) sekaligus mudah dipadatkan (*compactable*) pada temperatur yang relatif rendah (Van Dam *et al.*, 2015).

4. *Foamed Asphalt* (FA)

Teknologi tersebut merupakan teknologi yang termasuk kategori baru dalam campuran aspal yang terdiri dari beberapa jenis, beberapa diantaranya adalah *Foamed Asphalt* jenis WMA, *Foamed Asphalt* berbasis etanol, dan *Foamed Asphalt* yang ditambahkan dengan lilin *Fischer-Tropsch* (F-T). *Foamed asphalt* mengintegrasikan material agregat RAP dalam *Warm-Mix Asphalt* yang menunjukkan moisture susceptibility lebih baik dibandingkan dengan aspal konvensional (Shu *et al.*, 2012). Penurunan viskositas ditunjukkan pada *Foamed Asphalt* berbasis etanol, penurunan viskositas berpengaruh terhadap *workability* dan penyelimutan agregat oleh bitumen (Hasan *et al.*, 2016). Penambahan lilin Fischer-Tropsch (F-T) ke dalam campuran *Foamed Asphalt* menunjukkan ketahanan terhadap deformasi permanen yang baik (Mrugala and Iwanski, 2015).

5. *Rubberized Asphalt* (RA)

Diperoleh dari ban bekas yang kemudian diolah menjadi *recycled crumb rubber*, merupakan salah satu alternatif dalam modifikasi campuran aspal. Ketahanan, fatigue performance, dan perubahan viskositas pada campuran menggunakan RA menunjukkan adanya peningkatan, selain itu kebisingan yang diakibatkan oleh interaksi antara perkerasan dengan kendaraan (Paje *et al.*, 2013; Kaloush, 2014; Liu *et al.*, 2015). Sehingga, campuran aspal yang menggunakan RA memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan menjadi salah satu campuran perkerasan yang berkelanjutan (Farina *et al.*, 2017).

6. *Polymer Modified Asphalt* (PMA)

Campuran aspal dengan modifikasi polimer dengan menggunakan limbah plastik jenis LDPE, HDPE, dan PET dapat mengurangi kebutuhan aspal konvensional. Penggunaan limbah plastik jenis LDPE dan HDPE meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan retak dan alur (*rutting*) (Khan *et al.*, 2016). Sedangkan, penambahan plastik jenis PET dapat meningkatkan pada kinerja kelelahan (*fatigue*) pada campuran yang direncanakan untuk dilewati oleh lalu lintas berat (Ahmadinia *et al.*, 2012; Baghaee Moghaddam, Karim and Syammaun, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadinia, Esmaeil *et al.* (2012) 'Performance evaluation of utilization of waste Polyethylene Terephthalate (PET) in stone mastic asphalt', *Construction and Building Materials*, 36, pp. 984–989. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.015>.
- Aziz, M.M.A. *et al.* (2015) 'An overview on alternative binders for flexible pavement', *Construction and Building Materials*, 84, pp. 315–319. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.068>.
- Baghaee Moghaddam, T., Karim, M.R. and Syammaun, T. (2012) 'Dynamic properties of stone mastic asphalt mixtures containing waste plastic bottles', *Construction and Building Materials*, 34, pp. 236–242. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.054>.
- BSN (1991) 'SNI 06-2432-1991 (Metode pengujian daktilitas bahan-bahan aspal)'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN (2011a) 'SNI 2434:2011 (Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball))'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN (2011b) 'SNI 2441:2011 (Cara uji berat jenis aspal keras)'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN (2011c) 'SNI 2456:2011 (Cara uji penetrasi aspal)'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN (2015a) 'SNI 2438:2015 (Cara uji kelarutan aspal)'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN (2015b) 'SNI 8135:2015 (Spesifikasi aspal keras berdasarkan kelas penetrasi)'. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Buss, A., Cascione, A. and Christopher Williams, R. (2014) 'Evaluation of warm mix asphalt containing recycled asphalt shingles', *Construction and Building Materials*, 61, pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.066>.

- Chen, J.-S. and Wei, S.-H. (2016) 'Engineering properties and performance of asphalt mixtures incorporating steel slag', *Construction and Building Materials*, 128, pp. 148–153. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.027>.
- Chen, J. *et al.* (2021) 'New innovations in pavement materials and engineering: A review on pavement engineering research 2021', *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(6), pp. 815–999. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.001>.
- Van Dam, T.J. *et al.* (2015) *Towards Sustainable Pavement Systems: A Reference Document*. Washington, DC.
- Disfani, M.M. *et al.* (2012) 'Environmental risks of using recycled crushed glass in road applications', *Journal of Cleaner Production*, 20(1), pp. 170–179. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.020>.
- Erdem, S. and Blankson, M.A. (2014) 'Environmental performance and mechanical analysis of concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) and waste precast concrete as aggregate', *Journal of Hazardous Materials*, 264, pp. 403–410. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.040>.
- Farina, A. *et al.* (2017) 'Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement', *Resources, Conservation and Recycling*, 117, pp. 204–212. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.015>.
- Hasan, M. *et al.* (2016) 'Influence of high-pressure homogenization, ultrasonication, and supercritical fluid on free astaxanthin extraction from β -glucanase-treated *Phaffia rhodozyma* cells', *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 46(2), pp. 116–122. Available at: <https://doi.org/10.1080/10826068.2014.995807>.

- Hu, A. *et al.* (2022) 'A review on empirical methods of pavement performance modeling', *Construction and Building Materials*, 342, p. 127968. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127968>.
- Huang, Y., Bird, R.N. and Heidrich, O. (2007) 'A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements', *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), pp. 58–73. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.02.002>.
- Jamshidi, A. *et al.* (2016) 'Performance of pavements incorporating waste glass: The current state of the art', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, pp. 211–236. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.012>.
- Kaloush, K.E. (2014) 'Asphalt rubber: Performance tests and pavement design issues', *Construction and Building Materials*, 67, pp. 258–264. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.020>.
- Khan, I.M. *et al.* (2016) 'Asphalt Design using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction', in *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., pp. 1557–1564. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.196>.
- Król, J.B. *et al.* (2016) 'Effect of bitumen fluxing using a bio-origin additive', *Construction and Building Materials*, 114, pp. 194–203. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.086>.
- Liu, F. *et al.* (2015) 'Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement', *Construction and Building Materials*, 95, pp. 207–217. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.042>.
- Miró, R. *et al.* (2011) 'Evaluation of high modulus mixture behaviour with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for

- sustainable road construction', *Construction and Building Materials*, 25(10), pp. 3854–3862. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.006>.
- Mrugala, J. and Iwanski, M.M. (2015) 'Resistance to permanent deformation of asphalt concrete with F-T wax modified foamed bitumen', in *7th Scientific-Technical Conference Material Problems in Civil Engineering (MATBUD'2015)*, pp. 459–466. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.171>.
- Paje, S.E. *et al.* (2013) 'Road pavement rehabilitation using a binder with a high content of crumb rubber: Influence on noise reduction', *Construction and Building Materials*, 47, pp. 789–798. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.008>.
- Pasetto, M. and Baldo, N. (2012) 'Fatigue Behavior Characterization of Bituminous Mixtures Made with Reclaimed Asphalt Pavement and Steel Slag', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, pp. 297–306. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.882>.
- Plati, C. (2019) 'Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies : A literature review', *Construction and Building Materials*, 211, pp. 539–555. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242>.
- Pradyumna, T.A., Mittal, A. and Jain, P.K. (2013) 'Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use in Bituminous Road Construction', in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., pp. 1149–1157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.211>.
- Qasrawi, H. and Asi, I. (2016) 'Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate', *Construction and Building Materials*, 121, pp. 18–24. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.082>.

6.05.101.

- Riaz, A. *et al.* (2024) 'Innovative Pavement Solutions: A Comprehensive Review from Conventional Asphalt to Sustainable Colored Alternatives', *Infrastructure*, 9(10), pp. 1–35. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/infrastructures9100186>.
- Shu, X. *et al.* (2012) 'Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP', *Construction and Building Materials*, 35, pp. 125–130. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.095>.
- Strickland, D. *et al.* (2008) *Study of the Low-Temperature Properties of Sulphur Extended Asphalt Mixtures*. Ontario, Canada. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92454242>.
- TRB (2012) 'Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements'. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Zhang, Z. *et al.* (2016) 'Key performance properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregate from low strength concrete', *Construction and Building Materials*, 126, pp. 711–719. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.009>.

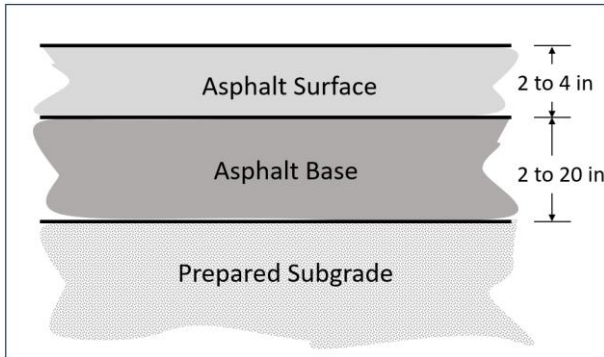
BAB 7

PERKERASAN LENTUR: KONSEP DAN APLIKASI

Struktur perkerasan jalan dibangun sebagai upaya dalam meningkatkan daya dukung tanah dasar agar dapat memikul beban lalu lintas yang melintas di atasnya. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama. Struktur perkerasan lentur dapat berupa lapisan beraspal penuh (*full depth asphalt*), atau berlapis (*multilayer*) yang terdiri dari lapisan permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Perkerasan lentur menggunakan material beraspal sebagai lapisan utama yang bersifat fleksibel sehingga memiliki kemampuan untuk menyesuaikan deformasi kecil pada tanah dasar yang ada dibawahnya tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan.

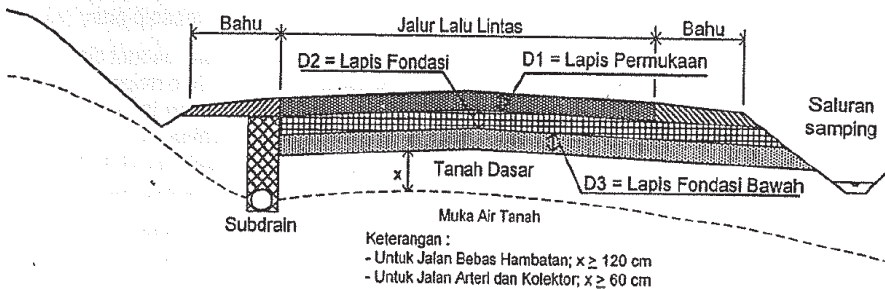
Asphalt Institute memperkenalkan metode perancangan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang cukup dikenal secara luas melalui manual *Thickness Design - Asphalt Pavement for Highways & Streets* (MS-1) pada tahun 1981. Metode ini mencakup faktor iklim dan beban lalu lintas untuk menentukan ketebalan lapisan permukaan, fondasi atas, dan bawah.

Perkerasan lentur menurut Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) Bina Marga 2024 adalah struktur jalan yang menggunakan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan dan material berbutir/bersemen di bawahnya, dirancang menggunakan pendekatan mekanistik-empirik berdasarkan beban lalu lintas untuk memikul beban roda dan melayani umur rencana.



Gambar 7.1. Tipikal lapis perkerasan beraspal “Full Depth Asphalt”
(Sumber: Asphalt Institute, 1960)

Perkerasan lentur yang dijabarkan dalam Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2013, menjelaskan bahwa struktur perkerasan lentur terdiri dari lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan beraspal.

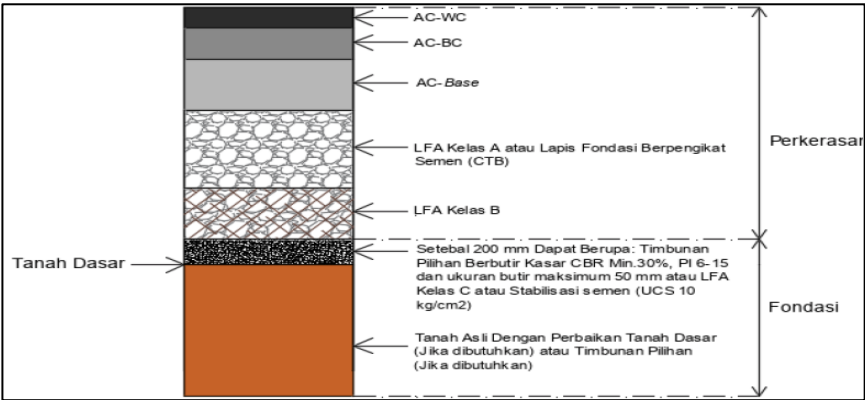


Gambar 7.2. Susunan Struktur Perkerasan Lentur
(Sumber: Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur, 2013, Kementerian PU)

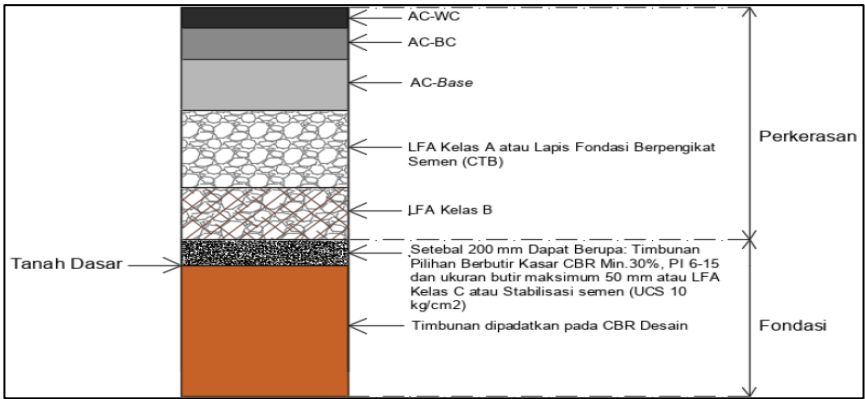
Perkerasan lentur banyak diterapkan pada jalan perkotaan, jalan nasional, hingga jalan lingkungan karena memiliki beberapa keunggulan seperti proses konstruksi yang relatif cepat, biaya pembangunan yang kompetitif, serta kemudahan dalam perawatan dan rehabilitasi. Namun, keberhasilan penerapan perkerasan lentur

sangat dipengaruhi oleh kualitas perencanaan, pemilihan material, metode konstruksi, dan sistem pemeliharaan yang diterapkan.

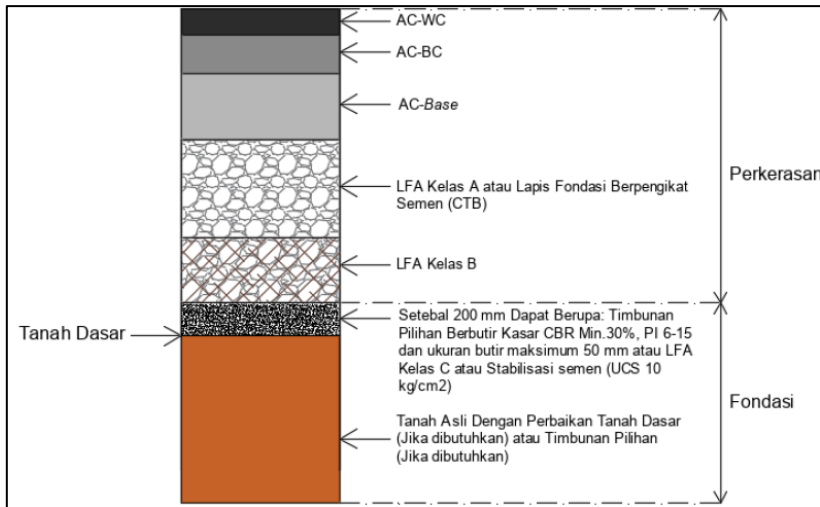
Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 penerapan perkerasan lentur sangat bergantung pada daya dukung tanah dasar (*subgrade*) dilokasi Pembangunan infrastruktur jalan, berdasarkan kekuatan daya dukung tanah dasar yang diukur melalui nilai *California Bearing Ratio* (CBR).



Gambar 7.3. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 1 Perkerasan Lentur pada Permukaan Tanah Asli (*At Grade*)
(Sumber: MDP 2024, No. 03/M/BM/2024, Direktorat Jenderal Bina Marga)



Gambar 7.4. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 2 Perkerasan Lentur pada Timbunan
(Sumber: MDP 2024, No. 03/M/BM/2024, Direktorat Jenderal Bina Marga)



Gambar 7.5. Tipikal struktur perkerasan lentur: Tipe 3 Perkerasan Lentur pada Galian

(Sumber: MDP 2024, No. 03/M/BM/2024, Direktorat Jenderal Bina Marga)

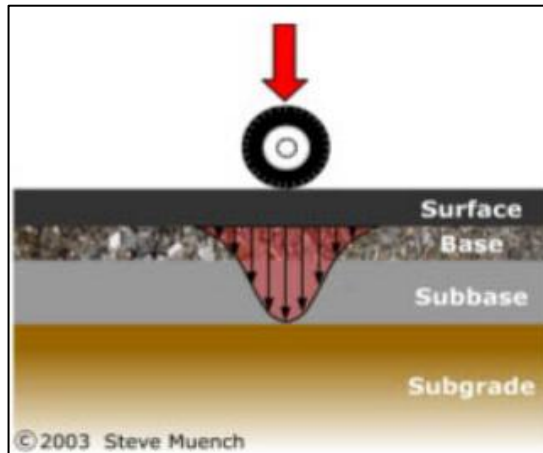
Bab ini membahas konsep dasar perkerasan lentur, struktur lapisan penyusunnya, karakteristik material yang digunakan, prinsip perencanaan, serta aplikasi perkerasan lentur dalam pembangunan infrastruktur jalan.

7.1 Pengertian Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan salah satu jenis struktur perkerasan jalan yang menggunakan bahan pengikat berupa aspal sehingga memiliki sifat lentur atau fleksibel dalam menerima beban lalu lintas. Struktur perkerasan ini dirancang untuk mampu menyalurkan dan menyebarkan beban kendaraan secara bertahap dari lapisan paling atas ke lapisan di bawahnya hingga akhirnya diteruskan ke tanah dasar (*subgrade*).

Karena sifatnya yang lentur, perkerasan ini dapat mengalami deformasi kecil tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Perkerasan lentur biasanya terdiri atas beberapa lapisan utama, yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi

atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*).



Gambar 7.6. Distribusi Pembebanan Pada Perkerasan Lentur
(Sumber: sisipil.com/perkerasan-lentur)

Lapisan permukaan umumnya menggunakan campuran beraspal yang berfungsi sebagai lapisan yang langsung menerima beban kendaraan, memberikan kenyamanan berkendara, serta melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air dan cuaca. Sementara itu, lapisan pondasi atas dan pondasi bawah berfungsi untuk mendistribusikan beban lalu lintas agar tekanan yang diterima oleh tanah dasar menjadi lebih kecil. Komponen-komponen ini mencakup lapisan dasar atas, juga disebut sebagai alas (pondasi) atas, dan lapisan dasar bawah, yang juga dikenal sebagai *subbase* yang diletakan di atas tanah dasar (tanah asli). Sebagai alternatif, bagian atas, yang dikenal sebagai *subbase* atas, dan pondasi bawah, yang biasa disebut *subbase* bawah, dapat digunakan. Seperti dikemukakan Hardiyatmo (2019), lapisan tersebut terletak di atas lapisan tanah di bawahnya yang telah mengalami pemadatan.

Menurut para ahli di bidang teknik jalan, perkerasan lentur dirancang dengan prinsip bahwa beban kendaraan akan menyebar semakin luas seiring bertambahnya kedalaman lapisan. Oleh karena itu, lapisan yang berada di bagian atas biasanya memiliki kualitas bahan yang lebih baik dibandingkan lapisan di bawahnya karena

menerima tegangan yang lebih besar. Sistem ini memungkinkan perkerasan untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi tanah dasar maupun beban lalu lintas.

Selain itu, perkerasan lentur memiliki beberapa keunggulan dibandingkan jenis perkerasan lainnya, antara lain proses konstruksi yang relatif lebih cepat, biaya awal yang lebih rendah, serta kemudahan dalam pemeliharaan dan perbaikan. Namun demikian, perkerasan ini juga memiliki kelemahan seperti lebih sensitif terhadap perubahan temperatur, beban lalu lintas berat yang berulang, serta kerusakan akibat air apabila sistem drainase tidak berfungsi dengan baik.

Dengan demikian, perkerasan lentur dapat didefinisikan sebagai struktur perkerasan jalan yang menggunakan bahan pengikat aspal dengan sifat fleksibel, terdiri atas beberapa lapisan yang berfungsi untuk menyebarkan beban lalu lintas secara bertahap hingga ke tanah dasar sehingga mampu memberikan kenyamanan, keamanan, dan ketahanan bagi pengguna jalan.

7.2 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) baik digunakan untuk jalan yang digunakan untuk jalan yang lalu lintasnya ringan sampai sedang, seperti jalan perkantoran, perkerasan dengan konstruksi bertahap” (Sukirman, S, 2010). Struktur perkerasan lentur biasanya terdiri dari empat lapisan utama, yaitu:

7.2.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan (*surface course*) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan lentur yang langsung menerima beban lalu lintas serta pengaruh lingkungan seperti air hujan, suhu, dan gesekan ban kendaraan. Lapisan ini biasanya terbuat dari campuran agregat dan bahan pengikat berupa aspal yang dirancang untuk memberikan permukaan jalan yang kuat, halus, dan tahan terhadap deformasi. Pada perkerasan lentur, lapisan permukaan berfungsi sebagai pelindung bagi lapisan-lapisan di bawahnya serta sebagai media kontak antara kendaraan dan struktur jalan. Oleh karena itu, lapisan ini harus memiliki kekuatan struktural, ketahanan terhadap

aus, serta kemampuan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan.

Fungsi Lapisan Permukaan

Perkerasan lentur adalah jenis struktur jalan yang paling umum digunakan di Indonesia (menggunakan aspal sebagai bahan pengikat). Berbeda dengan perkerasan kaku (beton semen) yang berfungsi seperti pelat kaku, perkerasan lentur memiliki sifat elastis plastis. Lapis permukaan terdiri dari dua bagian yaitu lapir antara dan lapis aus. Dimana untuk lapis antara pada struktur perkerasan lentur terdiri dari campuran agregat beraspal dengan ukuran agregat maksimum 25 mm yang ditempatkan antara lapis permukaan dengan lapis pondasi atas. Sedangkan untuk lapir aus merupakan campuran menirial agregat (ukuran maksimum 19,5 mm) dengan bahan pengikat aspal yang ditempatkan sebagai lapis paling atas biasanya terletak di atas lapis antara atau di atas lapis pondasi atas.

Adapun fungsi dari lapir permukaan adalah memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar secara merata, memberikan kenyamanan berkendara, serta melindungi tanah dasar dari kerusakan cuaca dengan struktur yang fleksibel menahan beban berulang.

A. Menerima dan menahan beban lalu lintas

Dalam merespons beban lalu lintas dapat diuraikan melalui mekanisme kerja, distribusi beban, dan peran setiap lapisannya. Berikut beberapa fungsi utama dalam struktur perkerasan lentur, yaitu:

1. Mekanisme Dasar: Distribusi Tegangan: Prinsip kerja utama perkerasan lentur dalam menahan beban adalah mendistribusikan beban roda ke area yang lebih luas di lapisan di bawahnya.
 - a. Penerimaan Beban (*Surface Course*): Saat roda kendaraan menyentuh permukaan jalan, beban titik (*point load*) yang sangat besar diterima oleh lapisan permukaan (*Surface Course*). Lapisan ini harus memiliki *stiffness* (kekakuan) yang tinggi untuk mencegah kerusakan lokal akibat tekanan langsung.
 - b. Penyebaran Beban: Perkerasan lentur menyerupai sistem lapisan (*layer system*). Saat beban diteruskan ke lapisan

bawah, tegangan menyebar secara kerucut (*cone of pressure*). Akibatnya, tegangan yang diterima oleh lapisan di bawahnya menjadi lebih kecil karena luas area penyebaran membesar.

- c. Konsekuensi: Karena tegangan berkurang di kedalaman, material di lapisan bawah tidak perlu sekuat material di lapisan atas. Ini adalah desain ekonomis perkerasan lentur.
2. Fungsi Penerima Beban (Menerima Tekanan Vertikal): Ketika menerima beban, perkerasan lentur mengalami dua jenis tegangan utama:
 - a. Tegangan Vertikal (*Compression*): Ini adalah tekanan langsung dari berat kendaraan yang menekan ke bawah. Lapisan permukaan aspal harus kuat menahan tekanan ini agar tidak terjadi deformasi permanen (pelunakan) akibat panas dan beban berulang.
 - b. Tegangan Horizontal (*Tensile Strain*): Saat roda melintas, terjadi efek "membungkuk" pada lapisan aspal. Bagian bawah lapisan aspal mengalami tarikan (*tensile strain*). Jika tarikan ini melebihi batas elastis aspal, akan terjadi retak retak (*fatigue cracking*) di bagian bawah yang lama-kelamaan merambat ke atas.
 3. Fungsi Penahan Beban (Menahan Deformasi dan Kerusakan): Perkerasan lentur tidak hanya harus "kuat", tetapi juga harus "fleksibel" untuk menahan deformasi. Fungsi ini dijalankan secara kolaboratif oleh lapisan pondasi:
 - a. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*): Fungsi utamanya adalah sebagai penahan beban utama (*load bearing*). Material agregat yang dipadatkan di sini berfungsi sebagai "tulang punggung" yang kaku untuk mencegah jalan ambles (*rutting*). Ia menahan agar beban tidak langsung "menjebol" tanah dasar.
 - b. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub-base Course*): Berfungsi sebagai lapisan peralihan yang lebih fleksibel, membantu mendistribusikan sisa beban ke tanah dasar secara merata dan mencegah pencampuran material tanah dasar dengan pondasi atas.
 - c. Tanah Dasar (*Subgrade*): Meskipun bukan bagian dari struktur perkerasan buatan, tanah dasar adalah "pondasi

- akhir". Perkerasan lentur didesain agar tegangan yang sampai ke tanah dasar lebih kecil dari daya dukung tanah tersebut.
4. Respons Terhadap Beban Berulang (*Fatigue*): Salah satu aspek krusial dalam fungsi menahan beban adalah kemampuan material aspal menahan beban berulang (*repetitive load*).
 - a. Sifat Viskoelastis: Aspal bersifat kental dan elastis. Saat kendaraan melintas, ia "meleleh" sedikit dan kembali ke bentuk semula (*resilient*). Fungsi perkerasan lentur yang baik adalah mampu mempertahankan sifat *resilient* ini agar jalan kembali rata setelah beban dilepas.
 - b. Ambles (*Rutting*): Jika fungsi menahan beban gagal (biasanya karena campuran aspal kurang stabil atau pondasi kurang padat), akan terjadi alur permanen (*rutting*) di lintasan roda.
 5. Fungsi Sekunder Pendukung Beban: Meskipun fokusnya adalah beban vertikal, ada fungsi lain yang mendukung kemampuan menahan beban:
 - a. Tahan Air (*Impermeable*): Lapisan permukaan aspal harus kedap air. Jika air meresap ke pondasi, daya dukung pondasi akan turun drastis, menyebabkan jalan cepat rusak saat menerima beban (jebol).
 - b. Tekstur Permukaan: Tekstur kasar pada permukaan memberikan gesekan (*skid resistance*). Ini memastikan beban lateral (saat pengereman atau belok) dapat diterima dengan baik tanpa kendaraan tergelincir.

B. Melindungi lapisan di bawahnya

Lapis permukaan pada struktur perkerasan lentur memiliki peran yang sangat penting, terutama dalam melindungi lapisan di bawahnya dari berbagai pengaruh eksternal. Lapis permukaan (*wearing course*) pada perkerasan lentur, yang umumnya berupa campuran aspal, sangat krusial untuk melindungi struktur di bawahnya dari kerusakan akibat cuaca (air) dan menahan beban lalu lintas langsung. Selain itu, lapisan ini berfungsi sebagai penyedia kerataan permukaan untuk kenyamanan dan keamanan berkendara.

1. Melindungi dari Infiltrasi Air

Salah satu fungsi utama lapis permukaan adalah mencegah masuknya air ke dalam struktur perkerasan. Air yang meresap ke dalam lapisan pondasi dapat menurunkan kekuatan dan stabilitas material, terutama pada lapisan yang tidak terikat (agregat yang tidak terselimuti aspal). Jika air masuk dalam jumlah besar, daya dukung lapisan pondasi dan tanah dasar dapat berkurang sehingga menyebabkan kerusakan seperti retak, deformasi, atau amblas pada jalan. Oleh karena itu, lapis permukaan yang kedap air berfungsi sebagai pelindung utama terhadap infiltrasi air hujan.

2. Menahan Pengaruh Cuaca

Lapis permukaan juga berfungsi melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh cuaca dan lingkungan, seperti perubahan suhu, radiasi matahari, dan hujan. Perubahan suhu dapat menyebabkan ekspansi dan kontraksi pada material perkerasan. Tanpa perlindungan yang baik, lapisan pondasi dapat mengalami kerusakan lebih cepat. Dengan adanya lapis permukaan yang dirancang dengan material aspal atau campuran beraspal, pengaruh cuaca tersebut dapat diminimalkan.

3. Memberikan permukaan yang rata dan nyaman

Bahan untuk lapis permukaan umumnya dibuat dengan persyaratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapis perkerasan lain pada struktur perkerasan lentur. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapis permukaan memiliki kerataan permukaan yang dirancang untuk mengurangi getaran sehingga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan berkendara dengan menciptakan permukaan perkerasan jalan yang rata, halus, dan stabil serta memberikan cengkeraman (tahanan gesek) yang aman bagi pengendara.

Karakteristik Lapisan Permukaan

Agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik, lapis permukaan harus memiliki beberapa karakteristik berikut:

1. Stabilitas tinggi untuk menahan deformasi akibat beban kendaraan.

2. Durabilitas baik agar tahan terhadap perubahan cuaca dan oksidasi aspal.
3. Fleksibilitas untuk mengikuti deformasi kecil pada lapisan bawah tanpa retak.
4. Kekesatan permukaan untuk menjaga keamanan kendaraan.
5. Kedap air agar air tidak merusak struktur perkerasan.

Jenis Campuran Lapisan Permukaan

Beberapa jenis campuran yang umum digunakan sebagai lapisan permukaan pada perkerasan lentur antara lain:

1. *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC): Campuran aspal beton dengan gradasi agregat rapat yang digunakan sebagai lapisan aus.
2. *Hot Rolled Sheet* (HRS): Campuran aspal panas dengan gradasi senjang yang memiliki ketahanan terhadap retak dan deformasi.
3. *Split Mastic Asphalt* (SMA): Campuran aspal dengan kadar aspal tinggi dan agregat kasar dominan yang memberikan ketahanan tinggi terhadap deformasi.
4. Laston (Lapisan Aspal Beton): Campuran agregat dan aspal yang dipadatkan pada suhu tinggi untuk menghasilkan lapisan yang kuat dan stabil.

Ketebalan Lapisan Permukaan

Ketebalan lapisan permukaan (*surface course*) pada perkerasan lentur merupakan proyeksi dimensi vertikal dari lapisan yang paling atas pada konstruksi jalan dengan fungsi utama sebagai penahan beban langsung lalu lintas yang melintas di atasnya serta pelindung lapisan di bawahnya dari pengaruh cuaca.

Ketebalan lapisan permukaan pada perkerasan lentur umumnya berkisar antara 3 cm hingga 5 cm, tergantung pada:

1. Kelas jalan
2. Volume lalu lintas
3. Jenis campuran aspal yang digunakan
4. Metode desain perkerasan

Ketebalan ini harus dirancang dengan tepat agar mampu menahan beban lalu lintas sekaligus memberikan umur layanan yang optimal.

Tabel 7.1. Syarat tebal lapis permukaan perkerasan lentur (umum)

Jenis Lapis Permukiman	Tebal Minimum (cm)	Tebal Maximum (cm)	Fungsi
Lapis Aus (<i>Asphaltic Concrete-Wearing Course/AC-WC</i>)	4	5	Kedap air. Kenyamanan, menahan aus
Lapis Aus (<i>Asphaltic Concrete-Binder Course/AC-WC</i>)	5	10	Memikul beban structural (momen)
Pencamouran (<i>Surface & Binder</i>)	~10 (total)	>10 (berat)	Struktural & fungsional

Sumber: Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum, 2005.

7.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas terletak di bawah lapisan permukaan dan berfungsi untuk mendistribusikan beban kendaraan ke lapisan yang lebih bawah. Lapisan ini dapat menggunakan:

1. Agregat bergradasi baik
2. Campuran agregat beraspal
3. Material stabilisasi

Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*) harus memiliki material yang kuat, awet, bersih dari lumpur, dan bergradasi rapat (agregat kasar, sedang, halus saling mengisi). Persyaratan utama mencakup nilai CBR > 50% hingga 100%, indeks plastisitas (IP) rendah, serta tahan terhadap beban lalu lintas dan kelembaban. Klasifikasi bahan untuk lapis pondasi atas adalah agregat yang sudah teruji baik bentuk, gradasi maupun kekuatannya.

1. **Material Utama:** Umumnya menggunakan batu pecah (agregat kelas A) yang bersih, keras, kaku, dan tajam.
2. **Gradasi Agregat:** Harus rapat (*well-graded*) agar rongga udara seminimal mungkin, memberikan stabilitas tinggi, dan menyebarkan beban secara merata.

3. Kekuatan dan Keawetan:

- a. Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) minimal 50% - 100% (tergantung spesifikasi, seringkali > 80% untuk jalan utama).
- b. Tahan terhadap keausan (diuji dengan mesin *Los Angeles*).

7.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Sub-base Course*)

Lapisan pondasi bawah terletak di antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar yang berfungsi sebagai lapisan transisi antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi utama lapisan ini meliputi:

1. Distribusi Beban: Menyebarkan tegangan dari roda kendaraan agar menjadi lebih kecil saat mencapai tanah dasar.
2. Perlindungan Tanah Dasar: Mencegah terjadinya pencampuran material tanah dasar dengan material pondasi atas (fenomena *pumping* atau *intrusion*).
3. Drainase: Menyediakan lapisan yang permeabel agar air tidak terjebak di dekat permukaan, sehingga menjaga stabilitas tanah dasar.
4. Kompensasi Ketebalan: Material *subbase* biasanya lebih murah daripada *base course*, sehingga penggunaannya menghemat biaya konstruksi.

Jenis Material *Subbase*

Material yang digunakan untuk *subbase course* harus memiliki kualitas yang lebih baik dari tanah dasar namun tidak seketat material pondasi atas. Jenis-jenisnya meliputi:

1. Agregat Tidak Terikat (*Unbound*): Pasir kerikil, batu pecah sisa *screaning*, atau tanah laterit yang distabilisasi.
2. Material Terikat (*Bound*): Material *subbase* yang dicampur dengan semen atau kapur (sering disebut *Cement Treated Subbase/CTSB*) untuk meningkatkan kekuatan.

Persyaratan Gradasi (Saringan)

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2018), gradasi agregat untuk lapisan pondasi bawah (kelas B) harus memenuhi rentang tertentu agar mencapai kepadatan maksimal.

1. No. Saringan 2 in: 100% lolos.

2. No. Saringan No. 40: Lolos 10% - 40%.
3. No. Saringan No. 200: Lolos maks 15% (tergantung spesifikasi plastisitas).

Gradasi yang baik memastikan material memiliki interlock (kunci pasir) yang baik dan drainase yang memadai.

Persyaratan Kekuatan dan Durabilitas Subbase

Agar lapisan Pondasi Bawah (*Sub-base Course*) mampu berfungsi sebagai pondasi, material harus memenuhi syarat:

1. CBR (*California Bearing Ratio*): Nilai CBR laboratorium umumnya diwajibkan minimal 20% (untuk volume lalu lintas rendah) hingga 50% atau lebih untuk volume lalu lintas tinggi. Nilai CBR menunjukkan daya dukung material relatif terhadap batu pecah standar.
2. Indeks Plastisitas (IP): Material tidak boleh terlalu plastis. Umumnya $IP < 10\%$ atau sesuai spesifikasi proyek. Plastisitas tinggi membuat material mudah mengembang dan menyusut jika basah.
3. Keausan (*Abrasion*): Untuk agregat kasar, nilai keausan (*Los Angeles*) tidak boleh lebih dari 50% agar tidak hancur saat dipadatkan.

7.2.4 Tanah Dasar (*Subgrade*)

Perkerasan lentur (Aspal) bekerja dengan mendistribusikan beban roda ke area yang lebih luas agar tekanan yang sampai ke tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah. Jika tanah dasar lemah, akan terjadi deformasi permanen (jejak roda/amungan) dan retak-retak pada permukaan aspal. Tanah dasar adalah lapisan tanah asli atau tanah timbangan yang berada di bawah struktur perkerasan (*surface course, base course, dan sub-base course*). Tanah ini berfungsi sebagai pendukung beban lalu lintas yang dialirkan melalui lapisan perkerasan di atasnya. Tanah dasar merupakan lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai fondasi bagi seluruh struktur perkerasan. Kualitas tanah dasar sangat menentukan ketahanan perkerasan jalan.

Berdasarkan fungsinya, kriteria tanah dasar yang ideal dalam struktur perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

1. Stabil terhadap perubahan cuaca (pengaruh air).
2. Memiliki daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup.
3. Tingkat pemadatan tinggi.
4. Tidak mengandung bahan organik.

Parameter penting yang perlu diketahui atau dicari dalam mengidentifikasi dan menyelidiki kekuatan tanah dasar antara lain:

1. Nilai CBR

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) adalah parameter empiris paling populer di Indonesia.

- a. **Definisi:** Rasio tekanan penetrasi tanah terhadap batu pecah standar.
- b. **Persyaratan:** Tanah dasar untuk jalan nasional umumnya mensyaratkan CBR laboratorium > 10% (untuk tebal perkerasan tipis) atau CBR lapangan > 80-100% dari CBR laboratorium.
- c. Cara pengujian: CBR Laboratorium (*soaked/unsoaked*) dan CBR Lapangan.

2. Modulus Resilien (M_r)

Modulus Resilien *Effective Roadbed Soil Resilient Modulus* (M_r), Parameter ini digunakan dalam desain mekanistik-empiris (seperti program KENPAVE atau AASHTO 1993/2004). Modulus resilien mengukur sifat elastis tanah saat mengulang beban.

- Korelasi CBR dengan M_r : $M_r(ksi) = 1500 \times CBR(\%)$

3. Modulus Reaksi Tanah (k)

Modulus reaksi tanah (k) digunakan untuk desain perkerasan kaku (*rigid pavement*), namun perlu dipahami perbedaannya dengan desain perkerasan lentur.

7.3 Karakteristik Material Perkerasan Lentur

Material yang digunakan dalam perkerasan lentur harus memenuhi standar teknis tertentu agar mampu memberikan kinerja yang optimal. Beberapa material utama dalam perkerasan lentur antara lain:

7.3.1 Aspal

Aspal merupakan bahan pengikat yang memiliki sifat viskoelastis. Aspal berfungsi untuk mengikat agregat sehingga membentuk lapisan perkerasan yang kuat dan tahan terhadap beban lalu lintas.

Jenis aspal yang sering digunakan antara lain:

1. Aspal keras (*penetration grade*)
2. Aspal modifikasi
3. Aspal emulsi



Gambar 7.7. Material bahan pengikat aspal

(Sumber: Google overview: Pd T-05-2005-B, Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

7.3.2 Agregat

Agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran perkerasan, biasanya mencapai sekitar 90–95% dari total berat campuran. Agregat harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Kuat dan tahan aus
2. Memiliki gradasi yang baik
3. Permukaan kasar agar mudah berikatan dengan aspal
4. Tahan terhadap pelapukan

Agregat pada perkerasan lentur terdiri dari agregat kasar, halus, dan filler, yang berfungsi menahan beban lalu lintas dan menyusun struktur campuran aspal. Agregat kasar (tertahan saringan No.8/2,36mm) berperan dalam stabilitas, sementara agregat halus (lolos saringan No.8) dan filler mengisi rongga, membentuk gradasi menerus yang kuat.

1. Agregat Kasar (*Coarse Aggregate*):

- a. Definisi: Material yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm), seringkali berupa batu pecah (*kricak*).

- b. Karakteristik: Harus bersih, kuat, awet, berbentuk kubus (bersudut), dan memiliki tekstur kasar untuk *interlocking* (saling mengunci) yang baik.

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah agregat yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (revisi 2).

Tabel 7.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> pada 500 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 50%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%
Buti pecah pada agregat kasar	SNI 7619:2012	80/75*)
Material lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 2%

Catatan:

*) 80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumbe: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI, Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007

2. Agregat Halus (*Fine Aggregate*):

- a. Definisi: Material yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm), umumnya berupa pasir alam atau hasil pemecahan batu (*screening*).
- b. Karakteristik: Harus bersudut tajam, bersih dari kotoran/lempung, dan kering.

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm) dan harus bersih, keras,

awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (revisi 1).

Tabel 7.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Agregat lolos ayakan NO. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 12%

Sumbe: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI, Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007

3. Bahan Pengisi (*Filler*):

- Definisi: Bagian agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm), seperti debu batu, semen, atau abu terbang.
- Fungsi: Mengisi rongga udara antar agregat, meningkatkan ikatan aspal, dan meningkatkan kekakuan campuran.

7.3.3 Bahan Tambahan (*Additive*)

Dalam beberapa kasus, bahan tambahan digunakan untuk meningkatkan kinerja campuran aspal. Contoh bahan tambahan antara lain:

- Polimer
- Serat selulosa
- Anti-stripping agent

Bahan tambahan ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dan retak.

7.4 Prinsip Perencanaan Perkerasan Lentur

Prinsip dasar perencanaan perkerasan lentur adalah menentukan ketebalan dan tipe material lapisan perkerasan yang mampu menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar tanpa menyebabkan kerusakan struktural, struktur jalan yang terdiri dari lapisan-lapisan material yang ditempatkan di atas tanah dasar (*subgrade*) sehingga mampu menyesuaikan deformasi akibat beban

lalu lintas tanpa mengalami kerusakan langsung. Perencanaan perkerasan lentur bertujuan untuk menentukan tebal setiap lapisan sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang melintas di permukaan perkerasan selama umur rencana jalan.

Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan meliputi:

7.4.1 Distribusi Beban Secara Bertahap

Distribusi beban secara bertahap merupakan salah satu prinsip utama dalam perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Prinsip ini menjelaskan bagaimana beban dari kendaraan yang bekerja di permukaan jalan disebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya agar tidak menimbulkan kerusakan pada tanah dasar. Pada perkerasan lentur, beban roda kendaraan diterima pertama kali oleh lapisan permukaan (*surface course*) dan kemudian disalurkan ke bawah melalui lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), hingga akhirnya mencapai tanah dasar (*subgrade*). Setiap lapisan berfungsi untuk mengurangi tegangan yang diteruskan ke lapisan di bawahnya, sehingga beban yang akhirnya mencapai tanah dasar menjadi lebih kecil.

Prinsip Distribusi Beban pada setiap lapis perkerasan untuk mengurangi tegangan yang diteruskan ke lapisan di bawahnya, Adalah sebagai berikut:

1. Lapisan atas (*surface course*): menanggung beban terbesar dan berfungsi menyebarkan beban ke area yang lebih luas di lapisan di bawahnya. Pada lapisan ini juga dituntut ketahanan terhadap aus dan cuaca.
2. Lapisan pondasi atas (*base course*): menerima beban yang sudah sedikit menyebar, lalu melanjutkan ke lapisan pondasi bawah. Ketebalan dan kekuatan lapisan ini sangat memengaruhi kinerja struktur jalan.
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*): berperan menyebarkan beban lebih luas lagi, sekaligus memberi dukungan bagi lapisan di atasnya dan membantu drainase.
4. Tanah dasar (*subgrade*): merupakan lapisan paling bawah, dengan daya dukung paling kecil.

Prinsip distribusi beban secara bertahap memastikan bahwa tegangan yang sampai ke lapisan ini tidak melebihi kapasitas dukung tanah sehingga tidak terjadi deformasi permanen.

7.4.2 Kekuatan Struktur Berlapis

Perkerasan lentur dirancang berdasarkan konsep struktur berlapis (*layered system*), di mana setiap lapisan memiliki fungsi dan kontribusi tertentu dalam menahan serta menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (*subgrade*). Kekuatan struktur berlapis ini menjadi prinsip utama dalam memastikan bahwa perkerasan mampu memberikan kinerja yang optimal selama umur rencana.

Pada sistem perkerasan lentur, beban roda kendaraan tidak langsung diterima oleh tanah dasar, melainkan disalurkan secara bertahap melalui beberapa lapisan, yaitu lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis pondasi bawah (*subbase course*). Setiap lapisan dirancang dengan material dan ketebalan tertentu agar mampu mengurangi tegangan yang diteruskan ke lapisan di bawahnya. Semakin ke bawah, tegangan yang diterima akan semakin kecil. Pada prinsipnya, semakin ke bawah, kualitas material boleh lebih rendah, tetapi tetap harus cukup kuat.

Kekuatan struktur berlapis dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Sifat material tiap lapisan, seperti kekuatan, kekakuan, dan daya tahan terhadap deformasi.
2. Ketebalan lapisan, yang menentukan kemampuan dalam menyebarkan beban.
3. Kondisi tanah dasar, karena tanah dasar merupakan elemen pendukung utama seluruh struktur.
4. Ikatan antar lapisan, yang mempengaruhi distribusi beban secara menyeluruh.

Prinsip utama dari struktur berlapis adalah bahwa lapisan dengan kualitas terbaik ditempatkan di bagian atas untuk menahan beban langsung dan pengaruh lingkungan, sedangkan lapisan di bawahnya berfungsi sebagai pendukung dan penyebar beban. Dengan demikian, desain yang baik akan menghasilkan distribusi

tegangan yang merata sehingga mencegah terjadinya kerusakan seperti retak, alur (*rutting*), dan penurunan (*settlement*).

Selain itu, konsep ini juga mempertimbangkan efisiensi biaya, di mana material berkualitas tinggi digunakan secara optimal pada lapisan atas, sementara material dengan kualitas lebih rendah dapat digunakan pada lapisan bawah tanpa mengurangi kinerja keseluruhan struktur.

Dengan menerapkan prinsip kekuatan struktur berlapis, perkerasan lentur dapat dirancang untuk memiliki daya dukung yang cukup, umur layanan yang panjang, serta mampu menyesuaikan terhadap variasi beban dan kondisi lingkungan.

7.4.3 Ketahanan terhadap Beban Lalu Lintas

Ketahanan terhadap beban lalu lintas merupakan salah satu prinsip utama dalam perencanaan perkerasan lentur, yang bertujuan untuk memberikan kepastian bahwa struktur perkerasan mampu menahan repetisi beban kendaraan yang melintas di permukaan perkerasan jalan selama umur rencana tanpa mengalami kerusakan yang mempengaruhi kemantapan jalan. Beban lalu lintas yang bekerja pada perkerasan tidak hanya berupa beban statis, tetapi juga beban dinamis yang terjadi secara berulang-ulang (*repetitive loading*), sehingga berpotensi menyebabkan kelelahan material (*fatigue*) dan deformasi permanen.

Dalam perencanaan, beban lalu lintas umumnya dinyatakan dalam satuan ekuivalen beban gandar standar (*Equivalent Standard Axle Load/ESAL*). Konsep ini digunakan untuk menyederhanakan berbagai jenis dan konfigurasi beban kendaraan menjadi satu jenis beban standar, sehingga memudahkan analisis dan desain ketebalan perkerasan.

Ketahanan perkerasan lentur terhadap beban lalu lintas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Volume dan pertumbuhan lalu lintas, termasuk jumlah kendaraan berat yang melintas.
2. Beban sumbu kendaraan, terutama kendaraan dengan muatan berlebih (*overloading*) yang dapat mempercepat kerusakan.
3. Distribusi beban dan frekuensi repetisi, yang berpengaruh terhadap akumulasi kerusakan.

4. Kualitas material perkerasan, yang menentukan kemampuan menahan tegangan dan regangan.
5. Ketebalan serta konfigurasi lapisan, yang berperan dalam mendistribusikan beban ke tanah dasar.

Perkerasan lentur dirancang agar mampu menahan dua jenis kerusakan utama akibat beban lalu lintas, yaitu:

1. Retak lelah (*fatigue cracking*), yang terjadi akibat regangan tarik berulang pada lapisan aspal.
2. Deformasi permanen (*rutting*), yang terjadi akibat akumulasi regangan tekan pada lapisan bawah dan tanah dasar.

Untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban lalu lintas, perencanaan perkerasan harus mempertimbangkan pemilihan material yang tepat, ketebalan lapisan yang memadai, serta pengendalian beban kendaraan. Selain itu, faktor drainase dan kondisi lingkungan juga perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja struktur secara keseluruhan.

Dengan memperhatikan prinsip ketahanan terhadap beban lalu lintas, perkerasan lentur diharapkan mampu memberikan kinerja yang stabil, aman, dan ekonomis sepanjang umur layanannya, serta meminimalkan kebutuhan pemeliharaan yang berlebihan.

7.4.4 Umur Rencana (*Design Life*)

Umur rencana (*design life*) merupakan periode waktu yang ditetapkan dalam perencanaan perkerasan lentur, di mana struktur perkerasan diharapkan dapat berfungsi dengan baik dalam melayani beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan tanpa mengalami kerusakan yang memerlukan rehabilitasi besar. Penentuan umur rencana menjadi dasar penting dalam menentukan tebal lapisan, jenis material, serta standar kinerja yang harus dicapai.

Dalam praktiknya, umur rencana perkerasan lentur umumnya berkisar antara 10 hingga 20 tahun, tergantung pada klasifikasi jalan, volume lalu lintas, dan kebijakan perencanaan. Selama periode ini, perkerasan tetap dapat mengalami penurunan kondisi secara bertahap, namun masih berada dalam batas tingkat pelayanan yang dapat diterima (*serviceability*).

Perencanaan umur rencana perkerasan lentur harus mempertimbangkan beberapa aspek utama (variabel kritis), antara lain:

1. Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR): Volume kendaraan pada awal tahun rencana.
2. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*): Estimasi kenaikan jumlah kendaraan setiap tahun selama masa rencana.
3. Equivalent Single Axle Load (ESAL): Konversi berbagai jenis beban sumbu kendaraan ke beban standar (biasanya 8,16ton atau 18.000 lbs).
4. Cumulative ESAL (W_{18}): Total beban kumulatif yang harus dipikul struktur selama umur rencana.

Tabel 7.4. Standar Umur Rencana untuk struktur perkerasan di Indonesia

Jenis Konstruksi	Umur Rencana (Tahun)	Keterangan
Perk. Lentur (Aspal)	10 – 20	Umumnya 20 tahun untuk jalan nasional/strategis.
Perk. Kaku (Beton)	20 – 40	Memiliki durabilitas lebih tinggi namun biaya awal mahal.
Lapis Tambahan (Overlay)	10	Untuk peningkatan kekuatan struktur jalan lama.

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2017/2024), Kementerian PUPR

Konsep umur rencana tidak berarti bahwa perkerasan akan bebas dari kerusakan selama periode tersebut, melainkan bahwa kerusakan yang terjadi masih dapat ditangani melalui pemeliharaan rutin dan berkala tanpa memerlukan rekonstruksi total. Oleh karena itu, dalam desain perkerasan lentur sering diterapkan pendekatan bertahap (*stage construction*) atau perkuatan (*overlay*) untuk memperpanjang umur layanan.

Penentuan umur rencana yang tepat akan menghasilkan desain perkerasan yang efisien dan ekonomis. Umur rencana yang terlalu pendek dapat menyebabkan kebutuhan rehabilitasi lebih cepat,

sedangkan umur rencana yang terlalu panjang dapat meningkatkan biaya awal secara tidak perlu.

Dengan demikian, umur rencana merupakan parameter kunci dalam prinsip perencanaan perkerasan lentur yang mengintegrasikan aspek teknis, lalu lintas, lingkungan, dan ekonomi untuk mencapai kinerja perkerasan yang optimal sepanjang masa penggunaannya.

7.4.5 Kondisi Tanah Dasar

Kondisi tanah dasar (*subgrade*) merupakan salah satu faktor penting dalam prinsip perencanaan perkerasan lentur, karena berfungsi sebagai lapisan paling bawah yang mendukung seluruh struktur perkerasan. Kinerja perkerasan secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah dasar dalam menahan dan mendistribusikan beban yang diteruskan dari lapisan di atasnya.

Dalam merencanakan perkerasan lentur (*flexible pavement*), kondisi tanah dasar (*subgrade*) sangat menentukan keawetan jalan. Berikut adalah beberapa kondisi kritis yang harus diperhatikan:

1. Daya Dukung (CBR): Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) harus memenuhi standar minimum (biasanya $>6\%$). Jika terlalu rendah, tanah tidak mampu menahan beban lalu lintas dan menyebabkan lendutan berlebih.
2. Sifat Ekspansif (Kembang-Susut): Tanah lempung dengan plastisitas tinggi cenderung mengembang saat basah dan menyusut saat kering, yang memicu retak-retak pada lapisan aspal di atasnya.
3. Kadar Air: Kelembapan yang tinggi atau drainase yang buruk dapat melunakkan tanah dasar dan menurunkan stabilitasnya secara drastis.
4. Keceragaman Tanah: Perubahan jenis tanah yang mendadak di sepanjang trase jalan dapat menyebabkan differential settlement (penurunan tidak seragam).
5. Kepadatan: Tanah dasar harus dipadatkan hingga mencapai derajat kepadatan laboratorium yang disyaratkan agar tidak terjadi deformasi permanen.

Dalam perencanaan perkerasan lentur, kondisi tanah dasar juga mempengaruhi penentuan tebal lapisan perkerasan. Semakin rendah daya dukung tanah dasar, maka semakin tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan untuk menyebarkan beban secara aman.

7.4.6 Drainase yang Baik

Pada infrastruktur jalan raya air merupakan musuh utama perkerasan, khususnya pada perkerasan lentur. Air menjadi faktor utama yang merusak struktur jalan, dengan cara melemahkan ikatan antara aspal dan agregat. Oleh sebab itu sangat di perlukan bangunan pelengkap jalan seperti drainase dengan fungsi utama adalah untuk melindungi konstruksi jalan dari kerusakan akibat air dengan cara mengalirkan air hujan atau air tanah ke penampungan, sungai, atau kolam penampungan. Ketersediaan drainase pada infrastruktur jalan sangat penting dan memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Harus ada sistem drainase yang baik
2. Lapisan harus mampu mengalirkan atau menahan air

7.4.7 Material yang Sesuai

Material yang sesuai untuk konstruksi perkerasan lentur adalah campuran perkerasan yang fleksibel, mampu mendistribusikan beban lalu lintas secara bertahap, serta mudah diperbaiki dengan bahan aspal sebagai bahan pengikat dan agregat (batu pecah, pasir, kerikil) sebagai bahan pengisi, yang secara umum harus memenuhi syarat sebagai:

1. Kekuatan (*stability*)
2. Kelenturan (*flexibility*)
3. Daya tahan (*durability*)
4. Kekesatan permukaan (*skid resistance*)

7.4.8 Analisis Tegangan dan Regangan

Analisis tegangan dan regangan pada perkerasan lentur merupakan studi mekanistik untuk mengukur respon struktur perkerasan berupa tegangan (gaya per satuan luas) dan regangan (deformasi/perubahan bentuk) pada lapisan aspal akibat beban lalu lintas.

Dalam melakukan analisa terhadap tegangan dan regangan pada perkerasan lentur, perencanaan modern menggunakan analisis mekanistik:

1. Regangan tarik di lapisan aspal → mencegah retak lelah
2. Regangan tekan di tanah dasar → mencegah deformasi

7.5 Kerusakan pada Perkerasan Lentur

Seiring waktu, perkerasan lentur dapat mengalami berbagai jenis kerusakan akibat beban lalu lintas, cuaca, maupun kualitas konstruksi.

Jenis kerusakan yang umum terjadi antara lain:

1. Retak (*cracking*)
 - a. Retak buaya (*alligator cracking*)
 - b. Retak memanjang
 - c. Retak melintang



Gambar 7.8. Kerusakan retak pada perkerasan jalan

(Sumber: Vatifa I., 2020, dalam

<https://www.scribd.com/document/543212381/Berwarna-Jenis-Kerusakan-Jalan>)

2. Alur (*rutting*) Terjadi akibat deformasi permanen pada jalur roda kendaraan.

Alur (<i>rutting</i>) 	Rendah (R) Kedalaman alur < 6mm.	Kecil <20% panjang segmen tinjauan
	Sedang (S) Kedalaman alur antara 6--13mm.	Menengah 20--50% panjang segmen tinjauan
	Tinggi (T) Kedalaman alur antara 13--25mm.	Besar >50% panjang segmen tinjauan

Gambar 7.9. Kerusakan Alur (*rutting*) pada perkerasan jalan
(Sumber: Vatifa I., 2020)

3. Lubang (*potholes*) Terbentuk akibat kerusakan lanjutan dari retakan.

Lubang (<i>potholes</i>)		- Memiliki ukuran yang bervariasi - Menampung dan meresapkan air sampai ke dalam lapis permukaan	- Campuran lapis permukaan yang buruk - Lapis permukaan yang tipis - System drainase yang buruk - Retak – retak yang terjadi tidak segera ditangani
----------------------------	---	---	--

Gambar 7.10. Kerusakan Alur (*rutting*) pada perkerasan jalan
(Sumber: David Y., 2023)

4. Pengelupasan (*ravelling*) Lepasnya butiran agregat dari permukaan jalan.

Pelepasan butir (<i>raveling</i>)		- Terjadi secara meluas	- Campuran lapis permukaan yang buruk - Lapis permukaan yang tipis - System drainase yang buruk - Retak – retak yang terjadi tidak segera ditangani
--	---	---	--

Gambar 7.11. Kerusakan Alur (*rutting*) pada perkerasan jalan
(Sumber: David Y., 2023)

Pemahaman terhadap jenis kerusakan pada lapis perkeran jalan khususnya pada perekerasan lentur sangat penting untuk menentukan jenis penanganan dan metode perbaikan yang tepat.

7.6 Aplikasi Perkerasan Lentur Dalam Infrastruktur Jalan

Perkerasan lentur digunakan secara luas pada berbagai jenis jalan di Indonesia, seperti pada:

1. Jalan perkotaan
2. Jalan nasional
3. Jalan tol
4. Jalan pedesaan
5. Area parkir dan bandara



Gambar 7.12. Aplikasi perkerasan lentur pada infrastruktur jalan
(Sumber: <https://tekniksipil.id/pelaksanaan-perkerasan-lentur-flexible>)

7.6.1 Studi Pendahuluan dan Perencanaan

Tahap awal adalah melakukan kajian awal untuk menentukan kelayakan proyek jalan. Dalam manentukan kelayakan proyek jalan tahapan kegiatan yang perlu dilakukan meliputi:

1. Survey lalu lintas untuk mengetahui volume kendaraan dan komposisi kendaraan.
2. Survey topografi untuk mengetahui kondisi kontur dan elevasi wilayah.
3. Survey geoteknik untuk mengetahui karakteristik tanah dasar (*subgrade*).
4. Analisis lingkungan dan sosial untuk mengidentifikasi dampak pembangunan jalan.

Hasil dari tahap ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelas jalan, umur rencana, dan kebutuhan struktur perkerasan.



Gambar 7.13. Survey untuk perencanaan infrastruktur jalan
(Sumber: <https://geotech.co.id/?p=1875> & <https://seftiansetia.com/tag/lhr>)

7.6.2 Analisis Lalu Lintas

Analisis lalu lintas bertujuan untuk menentukan beban lalu lintas rencana yang akan diterima oleh perkerasan.

Langkah-langkahnya meliputi:

1. Menghitung Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR).
2. Menentukan pertumbuhan lalu lintas tahunan.
3. Mengkonversi kendaraan menjadi Beban Sumbu Standar Ekuivalen (ESAL).

Data ini digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan.

7.6.3 Investigasi Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar merupakan lapisan yang menerima beban dari seluruh struktur perkerasan.

Kegiatan pada tahap ini meliputi:

1. Pengambilan sampel tanah.
2. Pengujian laboratorium seperti:
 - a. CBR (*California Bearing Ratio*)
 - b. *Atterberg Limits*
 - c. Analisis gradasi tanah.

Nilai CBR tanah digunakan sebagai parameter utama dalam desain perkerasan lentur.

7.6.4 Perencanaan Struktur Perkerasan Lentur

Perencanaan struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah proses menentukan ketebalan dan komposisi lapisan aspal, lapis pondasi, dan tanah dasar agar mampu memikul beban lalu lintas (kendaraan) selama umur rencana tanpa mengalami kegagalan struktural.

Analisis struktur umumnya membagi perkerasan menjadi empat lapisan utama:

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*): Menahan gaya gesek rem, kedap air, dan menyediakan kekesatan. Biasanya menggunakan aspal beton (AC-WC atau AC-BC).
2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*): Bagian struktural utama yang menahan beban vertikal. Menggunakan material granular pecah atau aspal padat.
3. Lapis Pondasi Bawah (*Sub-base Course*): Menyebarkan beban ke tanah dasar dan berfungsi sebagai lapisan drainase serta lantai kerja.
4. Tanah Dasar (*Subgrade*): Fondasi alami yang kekuatannya diukur dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

Dalam melakukan analisa struktur dan perencanaan tebal masing-masing lapis perkerasan lentur, terdapat tiga input data yang sangat krusial, adalah sebagai berikut:

1. Daya Dukung Tanah Dasar (CBR)

Kekuatan tanah dasar sangat menentukan total ketebalan perkerasan. Semakin kecil nilai CBR, semakin tebal lapisan pondasi yang dibutuhkan untuk melindungi tanah tersebut dari deformasi permanen.

2. Analisis Lalu Lintas (ESAL)

Perencana tidak menghitung jumlah kendaraan secara satuan, melainkan mengonversinya ke dalam Beban Sumbu Standar Kumulatif atau (18.000 lbs / 8,16 ton).

- VDF (*Vehicle Damage Factor*): menunjukkan tingkat kerusakan dalam bentuk angka (nilai) sebagai pengaruh yang

ditimbulkan oleh satu lintasan kendaraan tertentu berdasarkan sumbu standar.

3. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan pada infrastruktur jalan adalah kondisi lingkungan jalan yang mencakup faktor cuaca (hujan ekstrem/panas), geologis, drainase, dan vegetasi. Dimana kondisi tersebut dapat mempengaruhi ketahanan struktur jalan serta keselamatan berkendara. Hal ini juga mencakup segala kondisi yang berdampak pada fisik pembangunan berupa polusi serta kerusakan habitat disekitar jalan. Dengan demikian, kebutuhan akan desain jalan yang memiliki sifat adaptif terhadap perubahan iklim.

- a. Drainase: drainase yang tidak memadai akan menimbulkan genangan air pada permukaan perkerasan jalan kemudian meresap ke dalam lapisan beraspal, sehingga melemahkan material, dan menyebabkan lubang atau retakan.
- b. Tekanan Termal & Cuaca: Kondisi ini merupakan dua faktor yang saling berkaitan erat dalam menggambarkan kondisi atmosfer yang berdampak pada lingkungan dan makhluk hidup lainnya (manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan). Khususnya pada infrastruktur jalan tekanan termal (panas tinggi) dan curah hujan ekstrem akan mengakibatkan kerusakan pada material perkerasan jalan.
- c. Faktor Alam & Geologis: Faktor alam dan geologis merupakan kondisi fisik bumi yang mencakup struktur batuan dan bentuk muka bumi (permukaan tanah). Dimana kondisi tanah yang banyak ditumbuhi vegetasi liar di sekitar jalan, dan ketinggian muka air laut yang lebih tinggi dari permukaan jalan menuntut pendekatan desain berkelanjutan.
- d. Kerusakan Habitat: Kondisi ini merupakan proses kehancuran dan degradasi, atau perubahan fungsi lingkungan alami yang menyebabkan habitat tersebut tidak lagi mampu mendukung kehidupan spesies asli. Dampak dari pembangunan jalan akan berdampak pada pemotongan jalur habitat satwa atau mengurangi vegetasi alami.

- e. Dampak Lingkungan: Dengan adanya jalan yang menjadi prasarana lalu lintas kendaraan atau aktivitas konstruksi menimbulkan polusi udara dan suara.

Perencanaan ketebalan setiap lapisan dapat menggunakan metode yang dikembangkan oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) atau standar nasional dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tabel 7.5. Metode perencanaan yang umum digunakan di Indonesia dan Internasional

Metode		Karakteristik
Metode AASHTO 1993		Berbasis empiris (percataan lapangan). Menggunakan Indeks Pelayanan (PSI) dan angka struktural (SN) sebagai output utama.
Manual Perkerasan	Desain (MDP 2017/2024)	Metode standar di Indonesia (PUPR). Menggunakan bagan desain yang disesuaikan dengan kondisi beban sumbu dan iklim tropis Indonesia.
Metode Mekanistik	Analitis-	Menggunakan prinsip fisika murni untuk menghitung regangan tarik (<i>tensile strain</i>) di bawah lapisan aspal dan regangan tekan (<i>compressive strain</i>) di atas tanah dasar.

7.6.5 Persiapan Lahan dan Pekerjaan Tanah

Persiapan lahan dan pekerjaan tanah pada pelaksanaan konstruksi jalan raya adalah tahap awal dan krusial yang bertujuan menciptakan fondasi stabil, mencakup:

1. Pembersihan lahan (*clearing dan grubbing*).
2. Pengupasan tanah humus (*topsoil*).
3. Pekerjaan galian dan timbunan.
4. Pembentukan badan jalan (*subgrade formation*).

Subgrade kemudian dipadatkan hingga mencapai kepadatan yang disyaratkan.



Gambar 7.14. Persiapan lahan dan pekerjaan tanah

Sumber: <https://info.kapuashulukab.go.id/2022/09/15/dilakukan-pekerjaan-galian-dan-penyiapan-badan-jalan-di-ruas-jalan-nanga-erak-nanga-raun>)

7.6.6 Pelaksanaan Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

Pelaksanaan lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) adalah tahapan krusial dalam konstruksi perkerasan lentur. Lapisan ini berfungsi sebagai penyebar beban dari lapis pondasi atas ke tanah dasar, serta berperan penting sebagai lapisan drainase dan pencegah naiknya butiran halus tanah dasar ke lapisan perkerasan (*pumping*).

Pelaksanaan lapis pondasi bawah (*Subbase Course*) perlu dilakukan analisis mengenai tahapan pelaksanaan, pengendalian mutu, dan tantangan di lapangan, dengan rangkaian analisis sebagai berikut:

1. Persyaratan Material (Spesifikasi Bina Marga) untuk Lapisan Pondasi Bawah

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (biasanya merujuk pada Seksi 5.1 - Lapis Pondasi Agregat), material *subbase* yang umum digunakan adalah Agregat Kelas B.

- Gradasi: Harus memiliki susunan butiran yang rapat (bergradasi baik) agar mudah dipadatkan.
- Abrasi: Keausan agregat kasar (uji LAA) biasanya tidak boleh lebih dari 40%.
- Indeks Plastisitas (PI): Harus rendah (biasanya 4–10) agar lapisan tidak bersifat ekspansif saat terkena air.
- CBR (California Bearing Ratio): Minimum 20% setelah perendaman (untuk Kelas B).

2. Tahapan Pelaksanaan di Lapangan untuk Lapisan Pondasi Bawah

Proses pelaksanaan harus dilakukan secara sistematis untuk memastikan kepadatan yang seragam, sebagai berikut:

a. Penyiapan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Sebelum penghamparan *subbase*, tanah dasar harus dipastikan sudah memenuhi elevasi rencana dan kepadatan minimum (umumnya 95-100% MDD). Permukaan harus bersih dari sampah, akar, dan genangan air.

b. Penghitungan Logistik dan Penghamparan

- Material: Agregat dikirim menggunakan *Dump Truck* dan ditumpuk dalam jarak tertentu agar volume per meter lari sesuai rencana.
- Penghamparan: Menggunakan *Motor Grader* untuk meratakan material. Perlu diperhatikan Faktor Gembur (*Bulking Factor*), di mana ketebalan hamparan gembur biasanya 1,2 hingga 1,3 kali dari tebal padat rencana.

c. Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan dilakukan menggunakan *Vibratory Roller* (10-12 ton) dengan prosedur:

- Dimulai dari bagian tepi menuju ke as jalan (pada bagian lurus).
- Dimulai dari bagian rendah ke bagian tinggi (pada bagian tikungan/*superelevasi*).
- Kadar Air Optimum: Selama pemadatan, material harus disiram air secara merata agar mencapai kadar air optimum sesuai hasil uji laboratorium (*Proctor Test*).

3. Pengendalian Mutu (*Quality Control*) untuk Lapisan Pondasi Bawah

Setelah pelaksanaan, dilakukan serangkaian pengujian untuk memastikan lapisan layak menerima lapisan di atasnya:

- a. Uji Kepadatan di Lapangan (*Sand Cone Test*): Dilakukan untuk memastikan derajat kepadatan telah mencapai spesifikasi (biasanya min. 100% dari berat isi kering maksimum laboratorium).

- b. Uji Elevasi dan Ketebalan: Menggunakan alat ukur (*Theodolite/Waterpass*) untuk memastikan elevasi permukaan sesuai gambar rencana (toleransi biasanya +0 cm s/d -2 cm).
- c. Uji Kerataan: Permukaan harus rata dan tidak boleh ada "kantong air" atau segregasi (pemisahan butiran kasar dan halus).

4. Analisis Masalah dan Solusi Lapangan

Beberapa kendala yang sering muncul dalam pelaksanaan *subbase*, sebagaimana yang dijabarkan pada tabel berikut:

Tabel 7.6. Analisis masalah dan solusi lapangan dalam pelaksanaan *subbase*

Masalah	Penyebab	Solusi
Segregasi Agregat	Penghamparan terlalu lama atau cara tumpuk yang salah.	Pencampuran ulang (<i>re-mixing</i>) secara manual atau mekanis di lapangan.
Kepadatan Tidak Merata	Kadar air terlalu rendah atau terlalu tinggi.	Pastikan penyiraman air merata (water tank) dan cek kembali kadar air sebelum pemadatan.
Lendutan Berlebihan	Tanah dasar di bawahnya masih lunak.	Lakukan perbaikan tanah dasar (<i>soil replacement</i> atau stabilisasi) sebelum lanjut.

Tanpa *subbase* yang baik, lapisan aspal di atasnya akan mengalami penurunan tidak seragam (*differential settlement*) yang memicu retak dini. Selain itu, *subbase* berfungsi memutus aliran kapiler air dari tanah dasar agar tidak merusak ikatan aspal di lapisan atas.



Gambar 7.15. Pelaksanaan Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

(Sumber: <https://info.kapuashulukab.go.id/2023/09/26/penghamparan-dan-pemadatan-pekerjaan-lapis-pondasi-agregat-klas-b-padaruas-jalan-simp-silat-miau-merah-nanga-silat>)

7.6.7 Pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (*Base Course*) merupakan tahapan paling kritis dalam struktur perkerasan lentur setelah tanah dasar dan *subbase*. Lapisan ini berfungsi sebagai pemikul beban utama yang meneruskan tegangan dari roda kendaraan ke lapisan di bawahnya. Karena posisinya tepat di bawah aspal, kualitas *base course* sangat menentukan apakah jalan akan cepat bergelombang atau tetap rata.



Gambar 7.16. Pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)
(Sumber: <https://info.kapuashulukab.go.id/2023/09/26/penghamparan-dan-pemadatan-pekerjaan-lapis-pondasi-agregat-klas-a-padaruas-jalan-simp-silat-miau-merah-nanga-silat>)

Pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (*Base Course*) berdasarkan hasil analisis mengacu pada standar teknis yang umum digunakan. Dalam hal perancangan dan pelaksanaan infrastruktur jalan dengan perkerasan lentur menggunakan metode-metode yang dimaut dalam Manual Desain Perkerasan (MDP 2017/2024) (Bina Marga), dengan uraian sebagai berikut:

1. Spesifikasi Material (Agregat Kelas A)

Untuk perkerasan lentur standar nasional, Lapis Pondasi Atas wajib menggunakan Agregat Kelas A. Perbedaannya dengan Kelas B (*subbase*) terletak pada kebersihan dan kekuatan mekanisnya.

- Gradasi: Harus bergradasi menerus (semua ukuran butiran ada) untuk mencapai kepadatan maksimum dan interlocking (saling mengunci) antar batuan.
- Fraksi Pecah: Minimal 80% dari agregat kasar harus memiliki minimal dua bidang pecah (hasil dari *Stone Crusher*), bukan batu bulat sungai.
- Nilai Abrasi: Maksimum 40% (Uji Los Angeles).

- d. CBR (*California Bearing Ratio*): Minimum 90% - 100% setelah perendaman.
- e. Indeks Plastisitas (PI): Maksimum 6 (sangat rendah agar tidak licin atau menyusut saat basah).

2. Prosedur Pelaksanaan di Lapangan

Ketelitian dalam metode kerja sangat menentukan modulus elastisitas lapisan ini.

a. Persiapan dan Penghamparan

Penghamparan lapis pondasi atas (LPA) pada pembangunan jalan adalah suatu tahapan kritis struktural sebagai tahapan yang bertujuan untuk membentuk landasan kokoh di atas tanah dasar, yang dipersiapkan sebagai media pada perkerasan untuk menyebarkan beban lalu lintas, dan memberikan stabilitas permukaan sebelum dilakukan pelapisan aspal/beton.

Proses ini melibatkan beberapa proses yaitu penyiapan permukaan, pencampuran, dan penghamparan serta pemadatan material agregat kelas A, melalui tahapan sebagai berikut:

- Pembersihan: Lapis pondasi bawah (*subbase*) harus dibersihkan dari debu atau material lepas.
- *Trial Compaction*: Sebelum produksi massal, dilakukan hamparan percobaan untuk menentukan berapa jumlah lintasan (*pass*) alat berat yang dibutuhkan untuk mencapai kepadatan 100%.
- Alat Hampar: Disarankan menggunakan *Aggregate Spreader* atau *Motor Grader* dengan kontrol elevasi yang ketat agar ketebalan seragam.

b. Pengaturan Kadar Air

Pencampuran air tidak boleh dilakukan sembarangan di lapangan. Idealnya, material dicampur di *Base Camp* menggunakan *Pugmill* agar kadar air merata. Jika dilakukan di lapangan, penyiraman harus halus (kabut) agar tidak terjadi pencucian butiran halus (*finer content*).

c. Proses Pemadatan

Proses pemadatan lapis pondasi atas pada pembangunan jalan menggunakan alat berat (seperti *tandem*

roller, PTR, atau *vibratory roller*) untuk meningkatkan kepadatan, stabilitas, dan daya dukung material tanah dasar atau campuran aspal. Hal ini juga bertujuan menghilangkan rongga udara serta mengurangi potensi penurunan, dan memberikan kepastian rencana umur layanan jalan.

Proses pemadatan lapis pondasi atas dilakukan dengan mekanisme dan tahapan utamanya, adalah sebagai berikut:

- Urutan Alat: Diawali dengan *Vibratory Roller* (getaran) dan diakhiri dengan *Pneumatic Tire Roller* (roda karet) untuk menutup pori-pori permukaan.
- Teknik Lintasan: Pemadatan dilakukan tumpang tindih (*overlap*) minimal setengah lebar roda alat berat.
- Ketebalan: Tebal padat maksimum per lapis adalah 20 cm. Jika desain meminta 30 cm, maka harus dilakukan dalam dua lapis.

3. Pengendalian Mutu dan Toleransi

Setelah pemadatan selesai, dilakukan serangkaian pengujian "*Price & Quality*":

- a. Uji Kepadatan (*Sand Cone*): Wajib mencapai 100% kepadatan kering maksimum (MDD).
- b. Uji Kerataan (*Straight Edge*): Menggunakan mistar lurus 3 meter. Toleransi ketidakrataan permukaan biasanya tidak boleh lebih dari 1 cm.
- c. Proof Rolling: Uji lintasan dengan truk bermuatan berat. Jika terjadi bekas roda atau lendutan saat truk lewat, maka lapisan dianggap belum stabil dan harus dibongkar/dipadatkan ulang.

4. Analisis Risiko: Kegagalan Base Course

Jika pelaksanaan *base course* tidak sempurna, dampak yang sering terjadi adalah:

- a. Pelepasan Butiran (*Ravelling*): Jika material terlalu kering atau kurang butiran halus sebagai pengikat.
- b. Retak Refleksi: Jika *base course* tidak stabil, lapisan aspal di atasnya akan langsung mengalami retak meskipun aspalnya baru.
- c. Kerusakan Akibat Air: Jika drainase samping tidak berfungsi, air yang masuk ke *base course* akan menurunkan nilai CBR secara drastis (dari 100% bisa turun menjadi <50%).

5. Hubungan dengan Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat*)

Segera setelah *base course* lulus uji kepadatan dan elevasi, permukaan harus ditutup dengan Prime Coat (Lapis Resap Pengikat).

- a. Fungsi: Memberikan ikatan mekanis antara agregat pondasi dengan lapisan aspal.
- b. Syarat: Permukaan harus cukup kering agar aspal cair dapat meresap sedalam minimal 5-10 mm ke dalam pori-pori agregat

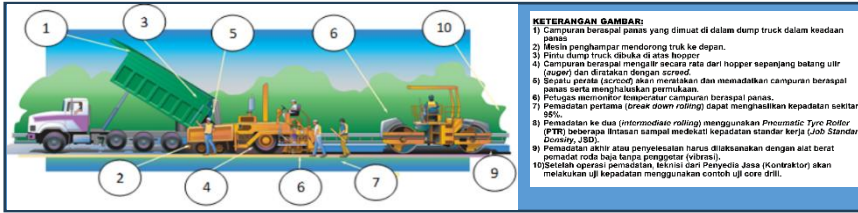
7.6.8 Pelaksanaan Lapisan Aspal (*Surface Course*)

Pelaksanaan Lapisan Aspal (*Surface Course*) merupakan tahap akhir dalam pembangunan jalan atau merupakan lapisan teratas pada konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang menjadi lapis permukaan bersentuhan langsung dengan beban lalu lintas. Proses ini melibatkan penghamparan campuran beraspal yang terdiri dari agregat dan aspal baik panas maupun dingin yang diletakan di atas lapisan pondasi, yang kemudian dipadatkan untuk mencapai kepadatan dan kededapan air sesuai dengan ketentuan dalam perencanaan.

Lapisan permukaan menggunakan campuran beraspal panas seperti:

1. AC-Base
2. AC-BC
3. AC-WC

Spesifikasi aspal di Indonesia umumnya mengikuti standar Bina Marga, mencakup jenis aspal keras (Pen. 60/70), aspal modifikasi (PG 70, aspal karet), dan aspal emulsi. Spesifikasi ini mengatur ketebalan, gradasi agregat, dan kadar aspal optimal untuk AC-WC, AC-BC, dan AC-Base guna memastikan ketahanan beban lalu lintas, dengan ketebalan standar 5-15 cm.



Gambar 7.17. Penghamparan dan pemadatan *Surface Course*

(Sumber: <https://www.vaasphalt.org/wp-content/uploads/2013/05/PavingTrain Poster.pdf>)

Komponen Spesifikasi Aspal (*Hot Mix*):

Komponen dan spesifikasi aspal *hot mix* dalam proses pembangunan jalan merupakan campuran material antara agregat (kasar dan halus), bahan pengikat aspal (bitumen), dan *filler* sebagai bahan pengisi yang kemudian dipanaskan pada suhu tinggi (umumnya di atas 135°C-145°C) untuk memastikan pencampuran material bahan perkerasan dan pemadatan yang sempurna.

1. Jenis Aspal: Aspal Penetrasi 60/70 (umum) atau Aspal Modifikasi (PG) untuk lalu lintas berat.
2. Struktur Lapisan:
 - a. AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*): Lapisan aus, permukaan atas.
 - b. AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*): Lapisan pengikat, di bawah AC-WC.
 - c. AC-Base (*Asphalt Concrete - Base*): Lapisan pondasi atas.
3. Parameter Penting:
 - a. Penetrasi (25°C): 60-70 mmx10⁻¹
 - b. Titik Lembek: ≥ 48°C (untuk Pen 60/70).
 - c. Viskositas (60°C): Sesuai standar (contoh: 2000 poise untuk AC20).
4. Gradasi Agregat: Mengikuti amplop gradasi rapat (sesuai spesifikasi Bina Marga).
Contoh Spesifikasi Teknis:
 - a. Ketebalan Aspal: 5-10 cm (jalan raya), 10-15 cm (tol).
 - b. Kadar Aspal Optimum: Umumnya 5-7% dari total campuran berat, tergantung hasil uji Marshall.

Tabel 7.7. Spesifikasi Umum Aspal (Bina Marga) pada Lapisan Aspal (*Surface Course*):

Karakteristik	AC-WC	AC-BC	AC-Base
Ketebalan Nominal	4 cm	5-6 cm	> 6 cm
Ukuran Maks. Agregat	19 mm	25.4 mm	37.5 mm
Kadar Aspal	Tinggi	Sedang	Renda

Sumber: Spesifikasi Umum 2018, untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2)

Proses konstruksi meliputi:

1. Penyemprotan tack coat atau prime coat.
2. Penghamparan campuran aspal menggunakan asphalt finisher.
3. Pemadatan menggunakan tandem roller dan pneumatic roller.
4. Pemeriksaan ketebalan dan kepadatan.

Lapisan ini memberikan kekuatan struktural, kenyamanan berkendara, dan ketahanan terhadap air.

7.6.9 Pengendalian Mutu (*Quality Control*)

Pengendalian Mutu (*Quality Control*) pada lapis permukaan (*Surface Course*) adalah tahapan paling krusial karena lapisan ini berhubungan langsung dengan beban roda kendaraan, cuaca, dan aspek keselamatan berkendara. Kesalahan kecil pada suhu atau pemadatan di tahap ini dapat mengakibatkan aspal retak atau bergelombang dalam hitungan bulan.

Quality Control pada lapis permukaan (*Surface Course*) berdasarkan hasil analisis mengacu pada standar teknis yang umum digunakan. Dalam hal ini, perancangan dan pelaksanaan infrastruktur jalan dengan perkerasan lentur menggunakan metode-metode yang dimaut dalam Manual Desain Perkerasan (MDP 2017/2024) (Bina Marga), dengan uraian sebagai berikut:

1. Pengendalian Mutu di AMP (*Asphalt Mixing Plant*)

Sebelum aspal sampai ke lapangan, kualitas campuran harus dipastikan sesuai dengan *Job Mix Formula* (JMF).

- a. Suhu Campuran: Ini adalah parameter vital. Aspal panas (*Hot Mix*) biasanya diproduksi pada suhu 145°C – 165°C. Jika terlalu panas (*overheated*), aspal akan menjadi getas

(*oksidasi*). Jika terlalu dingin, aspal tidak akan menyelimuti agregat dengan sempurna.

- b. Gradasi Agregat & Kadar Aspal: Dilakukan uji *Extraction & Grading* untuk memastikan persentase aspal dan ukuran batu sesuai rencana.
- c. Uji Marshall: Sampel diambil setiap hari produksi untuk menguji:
 - Stabilitas: Kemampuan menahan beban (Min. 800 kg untuk lalu lintas berat).
 - Flow (Pelelehan): Tingkat kelenturan aspal (2 mm – 4 mm).
 - VIM (*Void in Mix*): Rongga udara dalam campuran (3% – 5%) agar aspal punya ruang saat memuai namun tetap kedap air.

2. Pengendalian saat Penghamparan (*Laying*)

Pada tahap ini, fokus utama adalah pada keseragaman tekstur dan suhu hamparan.

- a. Pembersihan & Prime/Tack Coat: Pastikan lapis pengikat (*Tack Coat*) telah terpasang merata dan sudah "putus" (berubah warna dari coklat ke hitam) sebelum dihampar aspal.
- b. Suhu Hamparan: Aspal harus dihampar pada suhu minimal 130°C. Pengawas wajib membawa termometer tusuk untuk mengecek setiap dump truck yang datang.
- c. Kecepatan Paver: Alat *Asphalt Finisher* harus bergerak konstan. Berhenti terlalu lama akan menyebabkan perbedaan suhu yang memicu retak sambungan (*cold joint*).

3. Pengendalian Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah kunci durabilitas. Aspal yang kurang padat akan menyisakan banyak rongga udara yang bisa dimasuki air.

Tahapan Pemadatan:

- a. Breakdown Rolling (Awal): Menggunakan *Tandem Roller* (2 lintasan). Dilakukan saat suhu aspal masih sangat panas (125°C - 145°C).
- b. Intermediate Rolling (Antara): Menggunakan *Pneumatic Tire Roller* (PTR). Roda karet memberikan efek meremas (*kneading*

action) yang menutup pori aspal. Dilakukan pada suhu 100°C - 125°C.

- c. Finish Rolling (Akhir): Menggunakan *Tandem Roller* tanpa getaran hanya untuk menghilangkan bekas roda PTR PTR (*Pneumatic Tyre Roller*).

Larangan:

Alat pemadat tidak boleh berhenti di atas hamparan aspal yang masih panas karena akan menyebabkan depresi (cekungan).

4. Pengujian Hasil Akhir (Pasca Konstruksi)

Setelah aspal dingin (biasanya keesokan harinya), dilakukan serangkaian uji terima, yaitu dengan melakukan beberapa pengujian hasil pelaksanaan konstruksi sebagaimana diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 7.8. Spesifikasi Umum Aspal *Quality Control*

Jenis Uji	Tujuan	Toleransi
Core Drill	Mengambil sampel silinder untuk cek ketebalan dan kepadatan laboratorium.	Kepadatan min. 98% dari JMF. Ketebalan tidak boleh <-3 mm dari rencana.
Straight Edge (3m)	Mengecek kerataan permukaan secara memanjang dan melintang.	Maksimum tonjolan/cekungan 4 mm.
Sand Patch	Mengukur kedalaman tekstur untuk memastikan kekesatan jalan (mencegah <i>hydroplaning</i>).	Sesuai spesifikasi keselamatan.
Roughness (IRI)	Mengukur kenyamanan berkendara menggunakan alat <i>Roughometer</i> .	Nilai IRI jalan baru biasanya < 2.0 m/km (Sangat Mulus).

Sumber: Spesifikasi Umum 2018, pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (Revisi 2)

5. Ringkasan Parameter Kegagalan

Pengendalian Mutu (*Quality Control*) pada lapis permukaan (*Surface Course*) dianggap gagal jika ditemukan:

- a. Segregasi: Pemisahan butiran kasar dan halus (permukaan tampak keropos).

- b. Bleeding: Aspal naik ke permukaan (tampak mengkilap/basah), biasanya karena kadar aspal terlalu tinggi atau kegagalan VIM (*Voids in the Mix*).
- c. Crack: Retak yang terjadi langsung setelah pemadatan (sering karena suhu aspal terlalu rendah saat dipadatkan).

7.6.10 Pemeliharaan Jalan

Pemeliharaan jalan pasca penerapan perkerasan lentur adalah upaya krusial untuk menjaga agar jalan tetap berfungsi sesuai dengan Umur Rencana yang telah ditetapkan. Tanpa pemeliharaan yang tepat, kerusakan kecil seperti retak rambut dapat berkembang menjadi lubang besar hanya dalam satu musim hujan.

Berikut adalah referensi analisis strategi pemeliharaan pasca kontruksi perkerasan lentur jalan raya berdasarkan manajemen aset jalan:

1. Strategi Pemeliharaan Berdasarkan Waktu

Pemeliharaan dibagi menjadi tiga kategori utama untuk memastikan efisiensi biaya (*Cost Effectiveness*):

- a. Pemeliharaan Rutin (*Routine Maintenance*): Dilakukan terus-menerus sepanjang tahun (seperti pembersihan drainase, pemotongan rumput, dan penambalan lubang kecil).
- b. Pemeliharaan Berkala (*Periodic Maintenance*): Dilakukan pada interval waktu tertentu (misal 3-5 tahun) untuk memperbaiki kemunduran kualitas aspal, seperti pelapisan ulang (*overlay*) non-struktural.
- c. *Rehabilitasi/Rekonstruksi*: Dilakukan jika kerusakan sudah mencapai tingkat struktural yang parah dan tidak bisa lagi ditangani dengan pemeliharaan berkala.

2. Jenis Kerusakan dan Metode Penanganan

Pemeliharaan jalan pasca penerapan perkerasan lentur didasarkan pada hasil analisis pemeliharaan yang didasari atas penyesuaian jenis kondisi perkerasan dan jenis-jenis kerusakan yang terjadi di lapangan. Sebagai acuan dalam pelaksanaan pemeliharaan jalan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan serta pemilihan metode penanganan yang sesuai, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7.9. Strategi pemeliharaan kontruksi perkerasam lentur

Jenis Kerusakan	Penyebab Umum	Metode Pemeliharaan
Lubang (<i>Potholes</i>)	Air yang masuk ke pori-pori aspal yang retak.	Patching (Penambalan): Penggalian area rusak dan pengisian kembali dengan aspal baru.
Retak Kulit Buaya (<i>Alligator Cracking</i>)	Kelelahan struktur (<i>fatigue</i>) atau tanah dasar lemah.	Rekonstruksi Lokal: Pembongkaran hingga lapisan pondasi jika kerusakan struktural.
Alur (<i>Rutting</i>)	Beban kendaraan berlebih (<i>overloading</i>).	Levelling/Scraping: Perataan permukaan atau penggaruan aspal lama.
Kegemukan (<i>Bleeding</i>)	Kadar aspal terlalu tinggi atau cuaca panas.	Spreading: Penaburan pasir kasar/agregat halus pada permukaan yang lengket.

3. Pentingnya Sistem Drainase

Dalam prinsip perkerasan lentur, "Air adalah musuh utama aspal." Pemeliharaan jalan yang paling efektif sering kali bukan pada aspalnya, melainkan pada saluran sampingnya.

- Pembersihan Saluran: Memastikan air tidak menggenang di bahu jalan (*shoulder*).
- Normalisasi Kemiringan Melintang: Jalan harus memiliki kemiringan (biasanya 2-3%) agar air segera mengalir ke samping (fenomena *aquaplaning* harus dihindari).

4. Teknologi Pemeliharaan Modern

Saat ini, pemeliharaan jalan mulai beralih ke metode yang lebih cepat dan ramah lingkungan melalui metode:

- Slurry Seal*: Lapis tipis campuran aspal emulsi dan agregat halus untuk menutup retak rambut dan mencegah oksidasi aspal.
- Cold Milling*: Pengupasan lapisan aspal yang tidak rata menggunakan mesin *milling* untuk mengembalikan profil jalan sebelum dilapisi ulang.
- Recycling (Reclaiming)*: Menggunakan kembali material aspal lama yang dikupas, dicampur kembali, dan dihampar lagi (hemat material tambang).

5. Indikator Keberhasilan Pemeliharaan

Untuk menilai apakah pemeliharaan berhasil, digunakan parameter berikut:

- a. IRI (*International Roughness Index*): Mengukur kerataan jalan. Nilai IRI < 4 m/km dianggap mantap.
- b. PCI (*Pavement Condition Index*): Skala 0-100 yang menggambarkan kondisi visual perkerasan.
- c. SDI (*Surface Distress Index*): Indikator tingkat kerusakan permukaan jalan yang digunakan oleh instansi di Indonesia.
- d. Analisis Biaya: Menunda pemeliharaan rutin selama 1 tahun dapat meningkatkan biaya rehabilitasi hingga 4-5 kali lipat di tahun berikutnya karena kerusakan yang bersifat eksponensial.

7.7 Penutup

Perkerasan lentur merupakan sistem perkerasan jalan yang banyak digunakan karena sifatnya yang fleksibel dan ekonomis. Struktur perkerasan ini terdiri dari beberapa lapisan yang bekerja secara bersama-sama untuk mendistribusikan beban kendaraan hingga ke tanah dasar.

Keberhasilan penerapan perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh kualitas material, desain struktur yang tepat, metode konstruksi yang baik, serta sistem pemeliharaan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai konsep dan aplikasi perkerasan lentur sangat penting bagi para perencana, pelaksana, maupun pengelola infrastruktur jalan.

Dengan perencanaan dan pengelolaan yang tepat, perkerasan lentur dapat memberikan kinerja yang optimal serta mendukung kelancaran sistem transportasi dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.
- Asphalt Institute. (2014). *Asphalt Handbook*. Lexington, Kentucky.
- Asphalt Institute. 1999. Asphalt Pavement Thickness Design – Asphalt Institute Manual Series No.1 (MS-1). Lexington, Kentucky.
- Assa, T. F., Palenewen, S. C. N., & Waani, J. E. 2022. *Perbandingan Analisa Tebal Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku Terhadap Rencana Anggaran Biaya*. Jurnal TEKNO.
- Baranyanan, P. F., Amaheka, & Metekohy, J. G. 2024. *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Desain Perkerasan Jalan 2017*. Jurnal Bangunan Konstruksi.
- Das, B. M. 1988. Principles of Geotechnical Engineering. Boston: PWS Publishing.
- David Y., 2023, <https://www.scribd.com/document/651254895/Kerusakan-jalan>.
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., & Setiawan, D. M. *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metod Analisa Komponen Bina Marga dan AASHTO*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2024. Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Farida, I., & Hakim, G. N. 2020. *Ketebalan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO 1993 dan Manual Perkerasan Jalan 2017*. Jurnal Teknik Sipil Cendekia.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. Perencanaan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Huang, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design* (2nd Edition). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Khairil Anwar. (2005). *Dasar-Dasar Perencanaan Jalan*. Jakarta.
- Rahmawati, A., Setiawan, D., Pangestu, M. A. Y., & Aulia, R. A. 2018. *Evaluasi Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen, Austroads, Asphalt Institute dan Program Kenpave*. Jurnal Media Teknik Sipil.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Vatifa I., 2020, <https://www.scribd.com/document/543212381/Berwarna-Jenis-Kerusakan-Jalan>.

BAB 8

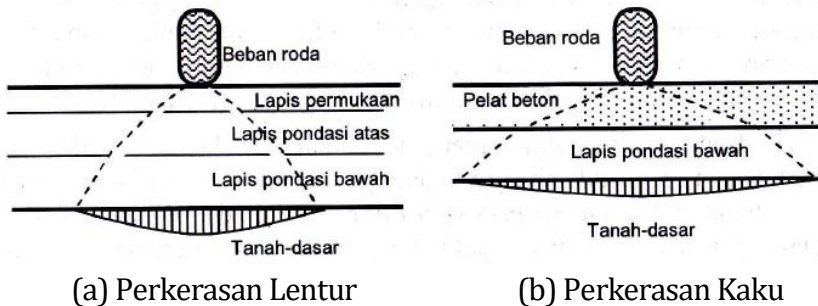
METODE KONSTRUKSI DAN MUTU PERKERASAN

Perkerasan jalan menjadi prasarana yang langsung dirasakan dalam aktivitas harian karena memengaruhi kelancaran mobilitas, keselamatan pengguna, biaya logistik, serta kenyamanan berkendara. Kualitas layanan jalan terkait dengan kemampuan lapisan perkerasan menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar tanpa memicu kerusakan dini. Dampak ekonomi muncul ketika permukaan tidak rata, timbul retak, atau terjadi deformasi, sebab biaya operasi kendaraan dan kebutuhan perbaikan meningkat. Mutu hasil di lapangan tidak cukup dinilai dari gambar rencana saja, karena kondisi terbangun sering berbeda dari asumsi desain, sehingga kinerja dan biaya siklus hidup dapat berubah. Hubungan antara mutu pelaksanaan, sifat lapisan terbangun, dan risiko kerusakan awal terbukti berpengaruh terhadap *rutting*, retak leleh, serta kerusakan akibat air (Serrone *et al.*, 2024).

Metode konstruksi merupakan urutan kerja, tata cara pelaksanaan, pemilihan alat, serta pengelolaan material untuk menghasilkan lapisan yang memenuhi spesifikasi. Pengendalian mutu atau *quality control (QC)* meliputi pemeriksaan dan pengujian selama pekerjaan, sehingga setiap lapisan memenuhi persyaratan sebelum dilanjutkan ke lapisan berikutnya. Pelaksanaan QC yang ketat pada bahan, pemadatan, dan pekerjaan setiap lapisan perkerasan dapat meminimalisir kerusakan awal dan menurunkan kebutuhan biaya pemeliharaan serta rehabilitasi pada masa layanan. Ketidaksesuaian antara desain dan kondisi terbangun dapat memicu desain berlebih atau kurang, yang berujung pada biaya siklus hidup (*lifecycle cost*) lebih tinggi (Walubita *et al.*, 2022).

Jenis perkerasan memengaruhi titik kritis pelaksanaan. Perkerasan lentur dengan bahan pengikat aspal peka terhadap suhu campuran, waktu pemadatan, serta pengaruh temperatur dan air, sehingga rentan *rutting* dan kerusakan kelembapan pada lalu lintas berat bila pelaksanaan tidak konsisten atau campuran tidak sesuai. Perkerasan kaku berbasis beton umumnya memiliki daya tahan lebih tinggi dan kebutuhan biaya perawatan lebih rendah, dengan konsekuensi biaya awal lebih tinggi serta kebutuhan ketelitian pada sambungan, kondisi tanah dasar, dan *curing* (Manjunatha *et al.*, 2024).

Perbedaan karakter struktural antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku seperti ilustrasi ditampilkan pada Gambar 1.



(a) Perkerasan Lentur (b) Perkerasan Kaku
Gambar 8.1. Perbedaan Karakter Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku
 (Sumber : Hardiyatmo, 2024)

Gambar 8.1 memperlihatkan susunan berlapis pada perkerasan lentur dan kaku beserta fungsi tiap lapisan dalam menyalurkan beban kendaraan ke tanah dasar. Pada perkerasan lentur, lapis aspal bekerja bersama lapis pondasi untuk menyebarkan tegangan secara bertahap hingga mencapai *subgrade*. Respons struktur sangat dipengaruhi kekakuan relatif tiap lapisan dan kualitas ikatan antarlapis. Pada perkerasan kaku, pelat beton berperan sebagai elemen struktural utama yang mendistribusikan beban ke area lebih luas melalui mekanisme lentur. Keberadaan lapis pondasi dan kondisi tanah dasar tetap menentukan besarnya lendutan dan risiko retak (Hardiyatmo, 2024).

8.1 Tahapan Konstruksi Perkerasan di Lapangan (Dari Tanah Dasar hingga Lapis Permukaan)

Tahapan konstruksi perkerasan di lapangan membentuk rangkaian kerja yang saling bergantung. Lapisan di bagian atas hanya dapat berfungsi baik bila lapisan di bawahnya memenuhi syarat tebal, kepadatan, kadar air, dan stabilitas. Urutan kerja yang rapi mengurangi peluang perbaikan ulang, meminimalkan gangguan lalu lintas, dan menjaga konsistensi mutu terbangun. Pemeriksaan lapangan dengan pengukuran langsung serta verifikasi non-destruktif dapat memastikan kondisi terbangun mendekati asumsi desain, terutama pada ketebalan dan kekakuan lapis fondasi sebelum penutupan lapisan berikutnya (Elseicy *et al.*, 2022).

Gambaran sistematis mengenai urutan pekerjaan konstruksi perkerasan dan titik-titik pemeriksaan mutu pada setiap tahap seperti disajikan pada Gambar 9.2. Ilustrasi ini memperlihatkan rangkaian tahapan konstruksi perkerasan mulai dari pekerjaan tanah dasar hingga lapis permukaan, disertai titik pemeriksaan mutu pada setiap tahap. Setiap lapisan harus memenuhi persyaratan kepadatan, kadar air, dan stabilitas sebelum pekerjaan dilanjutkan ke tahap berikutnya. Tahap *subgrade* menekankan pentingnya pengendalian kadar air dan pemadatan untuk memperoleh daya dukung yang seragam. Lapis pondasi bawah dan atas berfungsi menyebarkan beban kendaraan sekaligus menyediakan bidang kerja yang stabil. Tahap lapis permukaan menuntut ketelitian pada proses penghamparan dan pemadatan agar tercapai ketebalan serta kerataan yang sesuai spesifikasi. Ilustrasi ini menampilkan prinsip “lulus uji kualitas terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan,” sebagai dasar konsistensi mutu konstruksi.



Gambar 8.2. Tahapan Pekerjaan Perkerasan Lentur dan *Quality Control* di Lapangan
(Sumber: Ilustrasi Penulis, dibuat dengan ChatGPT, 2026)

8.1.1 Persiapan Pekerjaan: Tertib Lokasi dan Tertib Data

Persiapan diawali dengan pembersihan area kerja, pemindahan material lepas, pengupasan lapisan tanah organik, dan penataan akses alat. Kegiatan ini perlu disertai pengaturan drainase sementara agar air hujan tidak menggenangi area pemadatan dan tidak merusak bidang kerja. Kegiatan pengukuran dan *staking out* dilakukan untuk memastikan elevasi, kemiringan melintang, dan batas pekerjaan mengikuti gambar rencana, termasuk titik kontrol yang digunakan untuk pemeriksaan berkala selama pelaksanaan (Wibowo et al., 2025).

Pengaturan lalu lintas kerja diperlukan untuk menjaga keselamatan pengguna jalan dan pekerja, terutama pada pekerjaan pelebaran atau rehabilitasi yang tetap membuka sebagian lajur. Rambu, pembatas, serta manajemen arus kendaraan perlu disiapkan sebelum pekerjaan utama dimulai agar kualitas pelaksanaan tidak terganggu oleh konflik lalu lintas dan keterbatasan ruang kerja. Kesiapan alat juga termasuk pemeriksaan kondisi *paver*, *roller*, *water truck*, *concrete mixer*, *slipform paver* bila digunakan, serta peralatan uji lapangan.

Penyiapan *stockpile material* perlu memperhatikan pemisahan ukuran agregat, kebersihan, dan perlindungan dari hujan agar variasi kadar air tidak terlalu besar. Ketertiban data meliputi pencatatan

sumber material, hasil uji awal, rencana pemadatan, serta lokasi pengujian lapangan yang akan menjadi rujukan penerimaan lapis pekerjaan. Kerangka dokumentasi ini mendukung penelusuran penyebab bila muncul ketidaksesuaian pada tahap berikutnya (Ditjend Bina Marga Kementerian PU, 2025).

8.1.2 Pekerjaan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar dibentuk mengikuti elevasi rencana melalui galian atau timbunan, kemudian dilakukan pengondisian kadar air hingga mendekati kadar air optimum. Pemadatan dilakukan bertahap per lapis dengan ketebalan hamparan yang dapat dipadatkan efektif oleh alat yang tersedia. Hasil akhir tanah dasar yang seragam memberi dukungan yang stabil bagi lapis fondasi, mengurangi risiko penurunan diferensial yang sering berujung pada gelombang dan retak pada permukaan.

Istilah CBR dapat dipahami sebagai angka yang menggambarkan daya dukung tanah terhadap penetrasi, sedangkan kepadatan menggambarkan seberapa rapat susunan butiran setelah pemadatan. Kadar air memiliki peran langsung pada kekakuan lapisan dan respons terhadap beban awal. Kondisi terlalu basah mereduksi kepadatan, meningkatkan risiko deformasi saat alat berat melintas, dan berpotensi membuat kerusakan akibat air pada lapisan di atasnya. Kadar air yang terkendali membantu menjaga daya dukung dan menekan potensi kerusakan awal.

Praktik yang banyak dipakai untuk pemeriksaan awal stabilitas adalah *proof rolling*. Permukaan subgrade dilintasi kendaraan berbeban untuk melihat deformasi berlebihan dan area lemah yang perlu perbaikan lokal. Pendekatan ini efektif bila disertai pencatatan lokasi kerusakan dan tindak lanjut berupa pengeringan, perbaikan material, atau stabilisasi tanah. Verifikasi tambahan dapat dilakukan melalui pengujian kekakuan lapangan memakai alat seperti FWD, serta pemeriksaan ketebalan dan kondisi lapisan melalui GPR pada segmen tertentu, terutama pada pekerjaan rehabilitasi atau rekonstruksi bertahap (Bruno *et al.*, 2021).

8.1.3 Pekerjaan Lapis Pondasi Bawah dan Lapis Pondasi Atas (Subbase Course – Base Course)

Lapis pondasi berfungsi menyebarkan beban kendaraan dari lapis permukaan ke tanah dasar serta menyediakan bidang kerja yang stabil untuk hamparan berikutnya. Material *subbase* dan *base* dapat berupa agregat granular atau campuran distabilisasi, ditempatkan berlapis (*lifts*) dengan kadar air terkendali dan pemadatan yang memadai. Pengendalian kadar air dan kepadatan pada setiap *lift* menjaga kekakuan lapis fondasi dan menjaga keseragaman dukungan bagi lapis permukaan (Hand *et al.*, 2021).

Pengujian lapangan untuk memastikan mutu lapis pondasi mencakup pemeriksaan kepadatan dan kadar air, serta verifikasi ketebalan hamparan. Metode uji dapat memanfaatkan *nuclear gauge* atau *sand replacement*, disertai pengukuran ketebalan di titik tertentu. Pemeriksaan non-destruktif berbasis GPR dapat membantu pemetaan ketebalan yang lebih luas dan mendeteksi variasi yang berpotensi memicu perbedaan kekakuan lokal. Data ini memberi dasar perbaikan sebelum lapisan tertutup oleh lapis permukaan (Elseicy *et al.*, 2022).

Kualitas pemadatan berkaitan dengan kapasitas struktural awal. Kepadatan yang lebih tinggi cenderung menurunkan potensi *rutting* pada perkerasan lentur dan menurunkan risiko penurunan pada perkerasan kaku. Kepadatan yang rendah berkaitan dengan modulus yang lebih kecil, sehingga kerusakan dapat muncul lebih cepat dan kebutuhan pemeliharaan meningkat. Kinerja awal juga dipengaruhi oleh kondisi kelembapan pori yang berhubungan dengan kekakuan lapis fondasi serta kualitas ikatan antarlapis pada pekerjaan perkerasan lentur.

8.1.4 Pekerjaan Lapis Permukaan: Aspal atau Beton

Pada perkerasan aspal, rangkaian kerja mencakup produksi campuran di instalasi, pengangkutan ke lokasi, penghamparan oleh *paver*, serta pemadatan menggunakan *roller* sesuai urutan dan jumlah lintasan yang direncanakan. Risiko cacat lapangan sering muncul dari variasi suhu hamparan, segregasi, dan keterlambatan pemadatan. Pemantauan suhu *mat*, kepadatan

hamparan, dan profil permukaan menjadi aspek penting untuk menjaga konsistensi hasil terbangun. Teknologi pemadatan cerdas dan pemantauan suhu permukaan secara kontinu membantu verifikasi kualitas pemadatan pada area yang luas, disertai mekanisme verifikasi data kontraktor agar hasil pengukuran dapat dipertanggungjawabkan (Gilliland *et al.*, 2025).

Pencegahan cacat pada pekerjaan aspal juga berkaitan dengan kondisi antarmuka antarlapis. Penyemprotan *tack coat* perlu dilakukan pada permukaan bersih dan kering untuk menjaga ikatan antarlapis, serta mencegah jalur rembesan air pada bidang kontak. Metode uji yang terstandar untuk sebaran bahan pengikat dan mutu ikatan antarlapis dapat digunakan untuk mengurangi kegagalan ikatan yang sering berujung pada retak refleksi dan pelepasan lapisan.

Pada perkerasan beton, pekerjaan dimulai dari kesiapan lapis dasar, lalu pengecoran dan pembentukan permukaan. Tahap *finishing* perlu menjaga kerataan, tekstur permukaan, serta konsistensi tebal pelat. Pekerjaan sambungan dan curing merupakan bagian yang mempengaruhi risiko retak dini, curling, dan penurunan mutu permukaan. Kontrol temperatur dan kelembapan pada masa awal pengerasan membantu menjaga perkembangan kuat tekan dan kuat lentur serta mengurangi retak karena susut plastis.

Pemeriksaan mutu selama pelaksanaan dapat mengombinasikan uji destruktif terbatas dengan metode non-destruktif. GPR dan FWD dapat dipakai untuk memeriksa ketebalan, kekakuan, dan variasi kondisi lapisan tanpa banyak pembongkaran, sedangkan core hanya diperlukan pada titik konfirmasi. Perangkat profilometer inersial mendukung pemetaan kerataan awal dan identifikasi area yang perlu tindakan korektif sebelum pekerjaan diterima. Gabungan pendekatan ini efektif untuk mengurangi keterlambatan pekerjaan sekaligus menjaga cakupan pengujian yang memadai (Elseicy *et al.*, 2022).

8.2 Kontrol Mutu Perkerasan Lentur (Aspal)

Kontrol mutu pada perkerasan lentur berfokus pada kesesuaian bahan, keseragaman campuran, dan konsistensi proses pelaksanaan di lapangan. Perkerasan aspal bekerja sebagai sistem berlapis yang menerima beban berulang, sehingga variasi kecil pada suhu, pemadatan, atau ikatan antarlapis dapat berubah menjadi perbedaan kekakuan lokal yang memicu kerusakan lebih cepat. Variasi kepadatan dan ketebalan juga terkait dengan perkembangan ketidakrataan dan kerusakan awal, terutama pada ruas dengan lalu lintas berat.

8.2.1 Kontrol Material dan Campuran (Sebelum Dihampar)

Kontrol material dimulai dari verifikasi agregat, aspal, serta bahan tambahan yang dipakai dalam campuran. Agregat perlu memenuhi persyaratan kebersihan, ketahanan, dan gradasi agar rangka agregat stabil serta mudah dipadatkan. Gradasi yang tepat membantu mengurangi ruang antarbutir yang tidak terisi, menurunkan kecenderungan segregasi, dan menjaga kestabilan volumetrik campuran. Pemeriksaan pada tahap awal juga mencakup pengelolaan stockpile agar tidak tercampur material halus berlebih atau terkontaminasi tanah, sebab perubahan fraksi halus dapat mengubah kebutuhan kadar aspal dan perilaku pemadatan (Ditjend Bina Marga Kementerian PU, 2025).

Kontrol aspal meliputi kesesuaian jenis pengikat, kondisi penyimpanan, dan suhu pemanasan. Suhu campuran terkait langsung dengan *workability* pengikat dan kemampuan agregat terlapisi merata. Suhu campuran yang lebih tinggi cenderung mempermudah pelapisan dan membantu pencapaian densitas awal, dengan risiko penuaan aspal meningkat bila pemanasan berlangsung terlalu lama. Suhu campuran yang lebih rendah memperpanjang waktu kerja, risikonya berupa pemadatan tidak tercapai dan rongga udara meningkat (Shaffie *et al.*, 2022).

Keseragaman campuran perlu dijaga sejak produksi di AMP melalui pengendalian kadar aspal, waktu pencampuran, dan pengaturan kelembapan agregat. Segregasi dapat muncul dari pemilahan ukuran agregat selama penanganan, pengangkutan, atau saat penumpahan ke *hopper paver*. Segregasi memunculkan zona kaya agregat kasar dan zona kaya agregat halus, lalu

terbentuk variasi rongga udara yang sulit diperbaiki hanya dengan pemadatan. Pengendalian mutu produksi dan penanganan campuran yang konsisten menurunkan peluang terbentuknya sebaran rongga udara yang ekstrem pada permukaan terhampar.

Teknologi campuran juga berpengaruh pada jendela pemadatan. Pendekatan *warm mix asphalt (WMA)* dapat mengurangi energi dan penuaan termal, dengan syarat pengaturan waktu pemadatan tetap menjaga densitas. Optimasi *packing* atau penggunaan bahan tertentu diidentifikasi dapat membantu menjaga densitas dan kinerja rutting maupun kelelahan bila pengendalian suhu dan pemadatan dilakukan dengan baik (Junus *et al.*, 2024).

8.2.2 Kontrol Proses Lapangan : *Prime Coat, Tack Coat, Hampar-Pemadatan*

Proses lapangan diawali dari kesiapan permukaan lapis fondasi atau lapis aspal lama. Permukaan perlu bersih dari debu, lumpur, dan material lepas agar ikatan antarlapis terbentuk merata. Kondisi permukaan yang basah meningkatkan peluang terbentuknya bidang geser lemah dan jalur masuk air, sehingga kontrol kebersihan dan kelembapan menjadi prasyarat sebelum penyemprotan bahan pengikat.

Prime coat digunakan pada lapis berbutir untuk membantu ikatan awal dan mengurangi penyerapan air pada permukaan fondasi sebelum hamparan aspal. *Tack coat* dipakai sebagai perekat antarlapis aspal atau antara lapis aspal dan lapis di bawahnya. Kinerja ikatan antarlapis dipengaruhi oleh laju sebar dan keseragaman sebaran. Laju sebar yang terlalu kecil dapat menurunkan adhesi, laju sebar terlalu besar dapat memicu bidang licin lokal dan ikatan tidak seragam. Keseragaman sebaran berkaitan dengan daya tahan perkerasan karena ikatan yang baik menurunkan risiko delaminasi dan mengurangi peluang masuk air.

Kontrol sebaran *prime coat* dan *tack coat* dapat dilakukan melalui uji sederhana di lapangan, misalnya uji kertas (*paper test*) untuk verifikasi sebaran, disertai inspeksi visual pemerataan dan pencatatan kondisi cuaca saat pekerjaan. Nilai sebaran di

lapangan perlu merujuk pada spesifikasi proyek, dengan contoh praktik yang sering digunakan untuk *prime coat* pada rentang 0,4–1,3 liter/m² dan *tack coat* pada rentang 0,23–0,68 liter/m² pada studi kasus pekerjaan peningkatan struktur jalan (Saragi *et al.*, 2023).

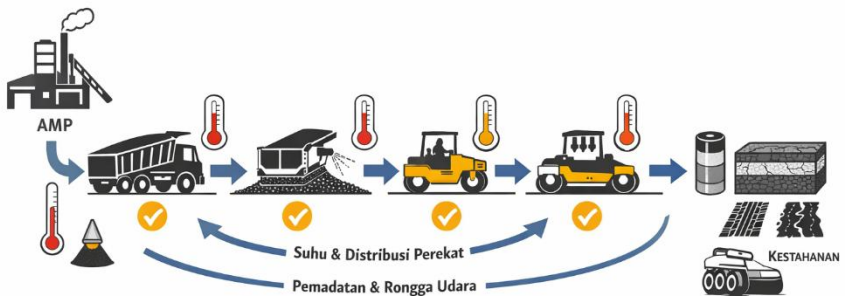
Tahap penghamparan memerlukan pengendalian suhu campuran saat tiba di lokasi, suhu hamparan, serta waktu antara penghamparan dan pemadatan. Suhu memengaruhi kemampuan campuran mencapai densitas target, sebab aspal yang terlalu dingin meningkatkan tahanan terhadap pemadatan dan menaikkan rongga udara. Pengaturan waktu pemadatan yang tepat berkaitan dengan densitas dan distribusi rongga udara, lalu terkait dengan *rutting* dan kelelahan. Pengendalian suhu juga perlu memperhatikan risiko penuaan aspal akibat pemanasan dan pemadatan berkepanjangan.

Pemadatan dilakukan bertahap melalui pemadatan awal, antara, dan akhir dengan pola lintasan yang konsisten. Target utama pemadatan adalah densitas lapangan dan rongga udara yang sesuai agar campuran cukup kedap terhadap air dan cukup kuat terhadap deformasi. Pendekatan pemantauan densitas yang lebih luas dapat dilakukan melalui perangkat pengukuran permukaan berbasis sensor dan pemetaan densitas penuh, sehingga area kurang padat dapat diidentifikasi lebih cepat untuk koreksi lintasan *roller*. Profil densitas berbasis perangkat tertentu dilaporkan membantu penilaian sebaran densitas dan rongga udara pada cakupan penuh untuk kegiatan QA.

Teknologi pemadatan cerdas dan pemantauan suhu *mat* secara kontinu juga digunakan pada beberapa proyek untuk menjaga konsistensi hasil. Penggunaan data kontinu perlu disertai mekanisme verifikasi, karena data kontraktor perlu dapat dipakai sebagai dasar penerimaan mutu. Penerapan verifikasi dan validasi data pemadatan cerdas dilaporkan sebagai bagian penting agar pemeriksaan mutu berbasis data kontinu dapat dipertanggungjawabkan (Gilliland *et al.*, 2025).

Hubungan antara tahapan pelaksanaan dan hasil mutu perkerasan aspal, dimana terdapat titik kontrol mutu kritis pada proses konstruksi perkerasan lentur seperti diilustrasikan pada

Gambar 8.3. Alur proses konstruksi perkerasan aspal mulai dari produksi campuran di *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, pengangkutan oleh truk, penghamparan menggunakan *paver*, hingga pemadatan oleh *roller*. Setiap tahapan dilengkapi titik kontrol mutu yang meliputi pengendalian suhu campuran, pemerataan prime coat dan tack coat, serta verifikasi ketebalan dan kepadatan lapisan. Variasi suhu dan distribusi bahan pengikat dapat memengaruhi kemampuan campuran mencapai densitas target dan distribusi rongga udara yang seragam. Ilustrasi ini menegaskan bahwa konsistensi pengendalian proses pelaksanaan berhubungan langsung dengan kinerja awal perkerasan, terutama terhadap ketahanan rutting dan retak leleh pada masa layanan awal jalan.



Gambar 8.3. Alur Proses Konstruksi Perkerasan Aspal
(Sumber : Ilustrasi Penulis, dibuat dengan ChatGPT, 2026)

8.2.3 Kontrol Hasil: Ketebalan, Kepadatan, dan Kerataan

Kontrol hasil dilakukan setelah pekerjaan selesai pada satu segmen atau satu lajur kerja. Parameter yang sering digunakan meliputi ketebalan lapis, kepadatan hasil pemadatan, dan kerataan permukaan. Ketebalan lapis penting karena berpengaruh pada kapasitas struktural dan distribusi tegangan, terutama pada kombinasi lapis AC-Base, AC-BC, dan AC-WC, atau HRS-BC dan HRS-WC pada beberapa pekerjaan. Variasi ketebalan dapat memicu variasi kekakuan lokal dan mempercepat munculnya kerusakan pada titik yang lebih tipis.

Kepadatan lapangan berkaitan dengan rongga udara. Kepadatan yang tidak merata menciptakan kontras kekakuan lokal, sehingga zona dengan kepadatan rendah lebih rentan terhadap deformasi dan masuknya air. Hubungan antara variabilitas pemadatan dan kerusakan awal dilaporkan terkait dengan rutting, retak refleksi, serta pembentukan lubang pada lalu lintas berulang. Pemeriksaan densitas lapangan dapat memakai alat nuklir atau metode lain yang diizinkan spesifikasi, disertai core di titik tertentu untuk verifikasi (Hand *et al.*, 2021).

Kerataan permukaan terkait langsung dengan kenyamanan pengguna dan juga terkait dengan pembebanan dinamis kendaraan. Ketidakrataan yang lebih tinggi menaikkan beban dinamis, mempercepat kerusakan, dan meningkatkan kebutuhan pemeliharaan. Kerataan dapat dinilai melalui pengukuran lapangan dan perangkat profilometer pada segmen penerimaan. Variasi ketebalan dan densitas sering berkaitan dengan kerataan yang menurun, sehingga evaluasi hasil perlu menautkan tiga parameter ini secara konsisten pada catatan penerimaan.

Metode yang umum dipakai untuk mengonfirmasi ketebalan dan mutu lapis adalah *core drill*. *Core drill* memberi bukti langsung ketebalan dan dapat dipakai untuk pengujian lebih lanjut terkait densitas atau rongga udara. Pendekatan non-destruktif seperti GPR dapat digunakan untuk memetakan variasi ketebalan pada area yang lebih luas, sehingga kebutuhan core dapat difokuskan pada titik konfirmasi. Pendekatan ini membantu memperluas cakupan pemeriksaan tanpa menambah gangguan lalu lintas dan tanpa banyak pembongkaran (Elseicy *et al.*, 2022).

8.3 Kontrol Mutu Perkerasan Kaku (Beton)

Kontrol mutu perkerasan kaku berfokus pada keseragaman dukungan lapis bawah, konsistensi beton segar, mutu beton setelah mengeras, serta ketelitian sambungan dan curing. Pelat beton bekerja sebagai elemen yang menyebarkan beban ke area lebih luas, sehingga variasi kecil pada kekakuan lapis bawah dapat menaikkan tegangan lentur pelat, lalu mempercepat retak dan ketidakrataan sambungan. Ketidakeragaman tanah dasar dan pondasi bawah juga terkait dengan fenomena pemompaan material halus (*pumping*) dan

penurunan dukungan di bawah pelat, sehingga pemeriksaan lapangan sebelum pengecoran menjadi bagian yang menentukan (Jalal dan Sulaiman, 2023).

8.3.1 Kontrol Lapis Pondasi: Kepadatan dan Stabilitas sebelum Beton dicor

Kontrol lapis bawah dimulai dari pembentukan elevasi, pengaturan kadar air, dan pemadatan hingga mencapai kepadatan lapangan yang dipersyaratkan. Pemeriksaan kepadatan sering memakai uji *sand cone* sebagai cara untuk menilai seberapa rapat susunan butiran setelah pemadatan. Data kepadatan dapat dipakai untuk menilai konsistensi pekerjaan antar segmen, sekaligus mendeteksi area lemah yang memerlukan perbaikan sebelum pelat beton dicor. Kegagalan pada tahap ini berpotensi menimbulkan retak dini, *faulting* pada sambungan, serta penurunan jangka panjang (Aulia dan Hadi, 2025).

Uji *proof rolling* dipakai sebagai pemeriksaan stabilitas berbasis respons visual saat permukaan dilintasi kendaraan berbeban. Permukaan yang menunjukkan deformasi berlebihan menandakan adanya zona lunak atau kadar air yang tidak sesuai, sehingga pekerjaan perlu dihentikan pada area itu sampai perbaikan selesai. Pelaksanaan *proof rolling* memberi manfaat ketika hasilnya dicatat per lokasi dan diikuti tindakan korektif, misalnya pengeringan, penggantian material, pemadatan ulang, atau stabilisasi. Praktik lapangan pada proyek jalan tol menunjukkan *proof rolling* tanpa deformasi berlebihan menjadi indikator awal bahwa lapis bawah cukup stabil untuk menerima lapis berikutnya (Bago *et al.*, 2025).

Keseragaman lapis bawah memengaruhi tegangan lentur pelat. Zona dengan dukungan lebih rendah menghasilkan lendutan lebih besar, lalu tegangan tarik di dasar pelat meningkat dan retak lebih mudah muncul. Kondisi ini juga dapat menaikkan peluang *faulting* pada sambungan karena transfer beban menurun saat dukungan tidak merata. Desain pondasi bawah yang mendukung drainase dan stabilitas membantu menekan risiko *faulting* serta kebutuhan pemeliharaan jangka panjang (Qamhia *et al.*, 2022).

8.3.2 Kontrol Beton Segar: *Workability (Slump Test)* dan Konsistensi

Kontrol beton segar bertujuan menjaga *workability* agar beton dapat ditempatkan dan dipadatkan dengan baik tanpa segregasi. Slump test digunakan sebagai indikator sederhana untuk menilai konsistensi beton segar pada saat penerimaan di lapangan. Nilai slump yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko pemisahan butiran dan perubahan kadar udara, sedangkan nilai slump yang terlalu rendah dapat menyulitkan penyebaran beton dan meningkatkan risiko rongga yang tertinggal saat pemadatan. Variasi *workability* juga berpengaruh pada orientasi agregat serta kepadatan beton, yang kemudian memengaruhi modulus dan ketahanan terhadap retak.

Keterkaitan *workability* dan mutu akhir perlu dipahami sebagai rangkaian. Beton yang mudah dikerjakan tetap memerlukan pemadatan yang memadai agar kepadatan dan struktur internal terbentuk seragam. Beton yang tidak terpadatkan baik berpotensi memiliki rongga lebih banyak, sehingga kekuatan awal dan ketahanan terhadap retak menurun. Kendali mutu di lapangan mencakup pemeriksaan waktu pengangkutan, temperatur beton, konsistensi antar truk, serta pencatatan hasil uji *slump* pada titik pengecoran. Prosedur pengujian mutu beton menjadi bagian yang tercantum dalam pedoman pelaksanaan dan spesifikasi pekerjaan jalan, termasuk pengaturan pemeriksaan selama pekerjaan berlangsung (Ditjend Bina Marga Kementerian PU, 2025).

8.3.3 Kontrol Beton Keras : Kuat Tekan/Kuat Lentur dan Kualitas Permukaan

Setelah beton mengeras, pengendalian mutu berfokus pada kekuatan dan mutu permukaan. Kuat tekan dipakai untuk memeriksa kemampuan beton menahan beban tekan, sedangkan kuat lentur lebih langsung terkait dengan kinerja pelat terhadap beban kendaraan berulang. Kuat tekan dan kuat lentur dipengaruhi rancangan campuran dan curing, sehingga hasil uji pada umur tertentu dipakai sebagai dasar penerimaan mutu. Kuat awal yang memadai membantu pengendalian retak pada fase awal, sedangkan kuat lentur jangka lebih panjang

berhubungan dengan ketahanan terhadap beban berulang (Soelarso dan Bethary, 2023).

Contoh data lapangan pada proyek jalan tol memperlihatkan uji kuat tekan *lean concrete* dan uji kuat lentur pelat beton dapat melampaui persyaratan minimum, sehingga pekerjaan dinilai memenuhi mutu yang diminta. Hasil *sand cone* pada lapis bawah juga dilaporkan mencapai lebih dari 100% terhadap kepadatan maksimum laboratorium pada beberapa segmen, menunjukkan pemadatan lapangan yang baik. Praktik pengujian tersebut menggambarkan keterkaitan tahap *subgrade*, lapis peralihan, *lean concrete*, dan pelat beton sebagai satu rangkaian mutu (Bago *et al.*, 2025).

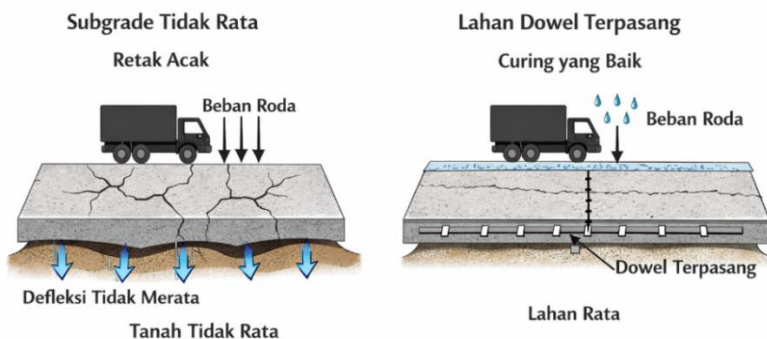
Kualitas permukaan perlu diperiksa melalui ketebalan pelat, kerataan, tekstur, serta kebersihan area kerja saat finishing. Ketebalan pelat yang tidak seragam dapat memicu variasi tegangan, sedangkan kerataan yang kurang baik berdampak pada kenyamanan berkendara dan beban dinamis kendaraan. Pemeriksaan kebersihan penting karena kontaminasi permukaan dan gangguan saat finishing dapat menurunkan nilai mutu tampak dan berpotensi memengaruhi daya tahan. Penilaian berbasis metode mutu proyek pernah dilakukan melalui sistem penilaian seperti QPASS dan QLASSIC, dengan temuan bahwa komponen arsitektural seperti kerataan permukaan, sealant sambungan, pemotongan dilatasi, dan ketebalan pelat memengaruhi skor mutu (Hasanah dan Suwardo, 2018).

8.3.4 Sambungan dan Curing

Sambungan dirancang untuk mengendalikan retak akibat susut dan perubahan temperatur, sekaligus menjaga transfer beban antar pelat. Jarak sambungan, ketepatan pemotongan, keselarasan dowel atau batang penyalur beban, serta kualitas sealing memengaruhi load transfer dan restrain. Ketidaktepatan detail sambungan dan ketidakselarasan dowel dapat menaikkan peluang faulting serta retak refleksi pada area sambungan. Sambungan yang dikerjakan rapi dengan dowel yang tepat membantu meningkatkan efisiensi transfer beban dan memperpanjang umur kelelahan (Yaqoob *et al.*, 2024).

Curing berfungsi menjaga kelembapan agar hidrasi semen berlangsung baik dan susut terkendali. Metode *curing* yang kurang memadai mempercepat penguapan air, meningkatkan risiko retak susut plastis, dan menurunkan durabilitas permukaan. *Curing* yang dilakukan sesuai ketentuan, baik melalui penutupan, pembasahan, maupun penggunaan curing compound, membantu menjaga perkembangan kekuatan dan ketahanan jangka panjang. Hubungan antara *curing*, kekuatan, dan ketahanan retak juga terlihat pada keterkaitan antara mutu campuran dan hasil uji kuat pada umur tertentu (Soelarso dan Bethary, 2023).

Ilustrasi mekanisme retak pada pelat beton serta peran penting sambungan dan dowel dalam mengendalikan retak dini ditampilkan pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4. Alur Proses Konstruksi Perkerasan Aspal
(Sumber : Ilustrasi Penulis, dibuat dengan ChatGPT, 2026)

Gambar 8.4 memperlihatkan perbandingan kondisi perkerasan beton yang mengalami kerusakan akibat mutu pelaksanaan yang kurang baik dengan kondisi perkerasan yang dirancang dan dibangun secara tepat. Pada bagian kiri ditunjukkan pelat beton di atas tanah dasar yang tidak seragam sehingga terjadi lendutan berbeda dan retak acak. Ketidakteraturan dukungan tanah memicu kerusakan lanjutan seperti faulting dan pumping. Pada bagian kanan ditampilkan pelat beton dengan sambungan yang teratur, dowel yang terpasang dengan baik, serta dukungan tanah dasar yang stabil. Kondisi ini memungkinkan retak terjadi secara

terkontrol pada lokasi sambungan, sehingga meningkatkan kinerja struktural dan memperpanjang umur layanan perkerasan beton.

8.4 Penutup

Kinerja perkerasan jalan dipengaruhi oleh keteraturan tahapan konstruksi dan ketelitian kontrol mutu sejak pekerjaan tanah hingga lapis permukaan. Kerangka kerja pengendalian yang menggabungkan inspeksi berbasis risiko, pemantauan kontinu berbantuan teknologi konstruksi cerdas, verifikasi non-destruktif untuk ketebalan dan kekakuan lapisan, serta ambang penerimaan berbasis kinerja terbukti membantu menurunkan variasi mutu terbangun. Penggabungan data dari beberapa sumber uji lapangan dapat mendukung koreksi cepat pada area yang menyimpang sebelum tertutup lapisan berikutnya. Keandalan data lapangan juga dipengaruhi oleh proses verifikasi dan validasi yang konsisten, termasuk pemeriksaan silang antara data pelaksana dan hasil uji independen.

Pada perkerasan lentur, titik kritis berada pada kebersihan permukaan, pemerataan *prime coat* dan *tack coat*, kendali suhu campuran, pola pemadatan, ketebalan lapis, dan kerataan hasil. Variasi kepadatan dan ketebalan dapat terkait dengan ketidakrataan awal dan munculnya kerusakan lebih cepat pada lalu lintas berulang. Pada perkerasan kaku, perhatian utama berada pada kepadatan dan stabilitas lapis bawah, konsistensi beton segar, mutu kuat tekan dan kuat lentur, ketelitian sambungan, serta mutu *curing*. Pengendalian mutu yang baik pada tahap awal berhubungan dengan penurunan kebutuhan pemeliharaan jangka panjang, termasuk melalui penurunan ketidakrataan awal. Praktik lapangan di Indonesia menunjukkan pemeriksaan *sand cone*, *proof rolling*, *slump*, kuat tekan, dan kuat lentur dipakai sebagai dasar penerimaan mutu pada proyek perkerasan kaku, sedangkan pada perkerasan lentur pengujian *prime coat/tack coat* dan verifikasi ketebalan serta kepadatan menjadi bagian penting (Saragi *et al.*, 2023; Bago *et al.*, 2025; Aulia dan Hadi, 2025). Penerapan spesifikasi dan pedoman pelaksanaan memberi rujukan teknis bagi ketertiban proses serta dokumentasi mutu sebagai bagian dari akuntabilitas investasi publik (Ditjend Bina Marga Kementerian PU, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, S. A. and Hadi, M. A. (2025) 'Pengendalian mutu pada struktur lapisan perkerasan kaku proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Betung-Jambi', *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 5(1), pp. 241–252.
- Bago, I. T., Suprayogi and Purba, G. C. (2025) 'Pengendalian Mutu Struktur Lapis Perkerasan Kaku Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 2A', *SILITEK: Jurnal Teknik*, 05(03), pp. 1780–1792.
- Bruno, S. *et al.* (2021) 'Technical Proposal for Monitoring Thermal and Mechanical Stresses of a Runway Pavement', *Sensors*, 21(20), p. 6797. doi: 10.3390/s21206797.
- Ditjend Bina Marga Kementerian PU (2025) *Spesifikasi Umum 2025 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Pertama. Jakarta: Ditjend Bina Marga Kementerian PU.
- Elseicy, A. *et al.* (2022) 'Combined Use of GPR and Other NDTs for Road Pavement Assessment: An Overview', *Remote Sensing*, 14(17), p. 4336. doi: 10.3390/rs14174336.
- Gilliland, A. L. *et al.* (2025) 'Missouri Department of Transportation's Verification and Validation Procedures for Intelligent Compaction and Paver-Mounted Thermal Profiling Systems', *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2679(8), pp. 788–799. doi: 10.1177/03611981251331009.
- Hand, A. J. T. *et al.* (2021) 'Achieving Asphalt Pavement Density With Minimal Mat Defects', *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2675(7), pp. 513–525. doi: 10.1177/03611981211020003.
- Hardiyatmo, H. C. (2024) *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hasanah, S. N. and Suwardo (2018) 'Quality Control Pekerjaan Rigid Pavement dengan Metode QPASS dan QLASSIC pada Proyek Jalan Tol Lampung', *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-21*, pp. 1–10.
- Jalal, M. F. A. and Sulaiman, M. (2023) 'Performance Evaluation of

- Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Incorporated Concrete for Rigid Pavements', *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(10), pp. 655–666. doi: 10.22214/ijraset.2023.55689.
- Junus, S. *et al.* (2024) 'Identifying the Effect of Polymer Composition in Hot Mix Asphalt Modification', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6 (128)), pp. 20–30. doi: 10.15587/1729-4061.2024.299189.
- Manjunatha *et al.* (2024) 'Analysis of Fixed and Variable Rigid Pavements in Comparison for Longevity, Durability and Cost-Effectiveness', *E3s Web of Conferences*, 507, p. 1053. doi: 10.1051/e3sconf/202450701053.
- Qamhia, I. I. A. *et al.* (2022) 'Design Considerations for a Permanent Granular Subbase Under Concrete Pavements: Stability, Drainability and Durability Requirements', *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2676(7), pp. 799–810. doi: 10.1177/03611981221082558.
- Saragi, T. E., Simanjuntak, N. I. and Tarigan, A. (2023) 'Metode Pelaksanaan dan Pengendalian Mutu Perkerasan Lentur Pekerjaan Peningkatan Struktur Jalan pada Ruas Jalan Sigalingging Huta Jungak Kabupaten Dairi (Studi Kasus)', *CONSTRUCT: Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), pp. 42–56.
- Serrone, G. D. *et al.* (2024) 'Bus Lane Design Based on Actual Traffic Loads and Climate Conditions', *Infrastructures*, 9(3), p. 50. doi: 10.3390/infrastructures9030050.
- Shaffie, E. *et al.* (2022) 'Prediction Model of the Coring Asphalt Pavement Performance Through Response Surface Methodology', *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, pp. 1–17. doi: 10.1155/2022/6723396.
- Soelarso, S. and Bethary, R. T. (2023) 'Analysis of the Use of Cobweb-Shaped Foundation for Road Pavement Construction', *Fondasi Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), p. 315. doi: 10.36055/fondasi.v12i2.21993.
- Walubita, L. F. *et al.* (2022) 'Comparative Environmental Assessment of Rigid, Flexible, and Perpetual Pavements: A Case Study of Texas', *Sustainability*, 14(16), p. 9983. doi: 10.3390/su14169983.

- Wibowo, M. R. F., Lindawati and Said, B. F. (2025) *Konstruksi Perkerasan Jalan: Standar, Material, dan Teknik Lapangan*. Pertama. Medan: PT. Media Penerbit Indonesia.
- Yaqoob, S., Silfwerbrand, J. and Balieu, R. (2024) 'A Parametric Study Investigating the Dowel Bar Load Transfer Efficiency in Jointed Plain Concrete Pavement Using a Finite Element Model', *Buildings*, 14(4), p. 1039. doi: 10.3390/buildings14041039.

BAB 9

KERUSAKAN PERKERASAN DAN MEKANISME KEGAGALAN

Perkerasan jalan merupakan sistem struktur berlapis yang dirancang untuk mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar sehingga tegangan yang terjadi tetap berada dalam batas kapasitas masing-masing lapisan. Desain ketebalan perkerasan, baik lentur maupun kaku, pada berbagai pendekatan seperti metode AASHTO, maupun Bina Marga, didasarkan pada prinsip bahwa setiap lapisan harus mampu menahan respons tegangan dan regangan akibat pembebanan tanpa melampaui daya dukungnya (Prayudyanto, Alimuddin and Suhendra, 2023; Tuati, Daud and A.R., 2023). Apabila tegangan yang diteruskan ke tanah dasar melebihi kapasitas dukung, maka akan muncul kerusakan struktural seperti *rutting*, ambblas, retak kulit buaya, serta berbagai bentuk deformasi permanen lainnya (Mirajhusnita *et al.*, 2021; Sari and Kisman, 2021; Saputro *et al.*, 2023).

Dalam perspektif *pavement asset management*, perkerasan tidak hanya dipandang sebagai konstruksi fisik, tetapi sebagai aset jaringan jalan yang harus dikelola sepanjang siklus hidupnya, mulai dari tahap perencanaan, desain, konstruksi, operasi, pemeliharaan, hingga rehabilitasi, rekonstruksi, dan akhir masa layanan (*end-of-life*) (Zhang, Keoleian and Lepech, 2013). Selama masa operasional, kinerja perkerasan akan menurun secara progresif akibat akumulasi beban lalu lintas berulang, variasi temperatur, perubahan kadar air, serta interaksi kompleks antara struktur dan lingkungan. Beban berulang mempercepat terjadinya kelelahan (*fatigue*) dan deformasi permanen (*rutting*), sementara peningkatan besaran atau proporsi beban sumbu berlebih dapat secara signifikan memperpendek umur layanan, bahkan hingga sekitar 50–55% ketika beban digandakan atau meningkat sekitar 20% (Hatoum *et al.*, 2022; Alwan, 2023). Kondisi ini menegaskan bahwa pengendalian beban dan pemahaman

mekanisme kerusakan menjadi faktor kunci dalam menjaga keberlanjutan kinerja perkerasan jalan.

Pemahaman terhadap kerusakan perkerasan sangat penting karena kerusakan merupakan indikator awal terjadinya degradasi struktural maupun fungsional. Kerusakan struktural terjadi ketika lapisan perkerasan atau tanah dasar kehilangan kapasitas dukung sehingga tidak mampu menahan beban lalu lintas, sedangkan kerusakan fungsional berkaitan dengan penurunan kualitas pelayanan permukaan jalan, seperti meningkatnya kekasaran, munculnya lubang, alur roda, dan ketidakrataan yang mempengaruhi kenyamanan dan keamanan berkendara (Rusmanto, Syafi'i and Handayani, 2018). Studi inspeksi permukaan menunjukkan bahwa retak kulit buaya, rutting, lubang, serta kekasaran permukaan merupakan indikator paling awal dan sensitif terhadap perubahan kondisi perkerasan (Mehdi *et al.*, 2021). Ketika kondisi struktural memburuk, laju degradasi fungsional meningkat tajam, sehingga kerusakan fungsional dapat dipandang sebagai peringatan dini terhadap terjadinya kegagalan struktural (Llopis-Castelló *et al.*, 2020; Fawzy *et al.*, 2025).

9.1 Jenis Kerusakan Perkerasan

Bentuk dan pola kerusakan perkerasan, seperti retak, rutting, lubang, dan ketidakrataan, merupakan hasil interaksi antara struktur perkerasan, beban lalu lintas, dan pengaruh lingkungan selama masa pelayanan. Kombinasi ketiga faktor tersebut menentukan jenis kerusakan yang dominan serta kecepatan penurunan kinerja jalan. Secara umum, perkerasan jalan dibedakan menjadi perkerasan lentur dan perkerasan kaku, yang masing-masing memiliki mekanisme distribusi tegangan dan respons struktural yang berbeda, sehingga menghasilkan karakteristik kerusakan yang berbeda pula.

Perkerasan lentur tersusun dari lapisan aspal di atas lapisan berbutir dan berperilaku sebagai sistem berlapis yang menyebarkan tegangan secara bertahap ke bawah. Struktur ini cenderung mengalami lendutan yang lebih besar, namun tegangan vertikal yang diteruskan ke tanah dasar relatif lebih kecil, sehingga kerusakan yang umum terjadi berupa rutting, retak lelah, dan deformasi permanen

(Beskou and Muho, 2023). Sebaliknya, perkerasan kaku berupa pelat beton di atas lapisan pondasi yang menahan dan menyebarkan beban terutama di dalam pelat beton itu sendiri. Sistem ini menunjukkan lendutan yang lebih kecil, tetapi tegangan di dalam pelat lebih tinggi dan terkonsentrasi di sekitar area pembebanan maupun sambungan, sehingga lebih rentan terhadap retak pelat, faulting, dan kerusakan pada sambungan (Serin, Oğuzhanoglu and Kayadelen, 2021). Perbedaan respons mekanik tersebut menyebabkan perbedaan pola kerusakan pada kedua jenis perkerasan, sehingga pemahaman terhadap jenis dan pola kerusakan menjadi langkah awal yang penting dalam menjelaskan mekanisme kegagalan dan perkembangan degradasi kinerja perkerasan jalan.

9.1.1 Kerusakan pada Perkerasan Lentur

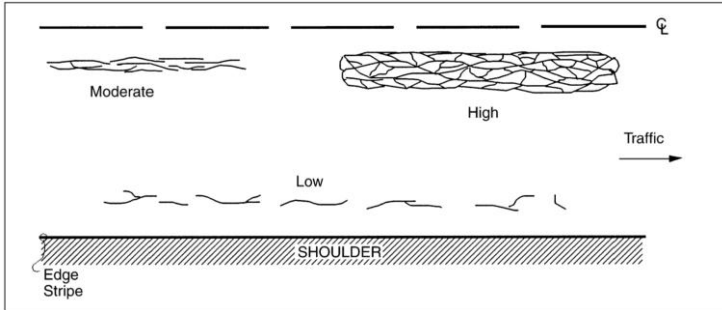
Secara umum, kerusakan pada perkerasan aspal dapat diklasifikasikan menjadi lima kelompok, yaitu retak (*cracking*), tambalan dan lubang (*patching and potholes*), deformasi permukaan (*surface deformation*), cacat permukaan (*surface defects*), dan kerusakan lain-lain (*miscellaneous distresses*) (U.S. Department of Transportation, 2014).

1. Retak (*Cracking*)

Bagian ini mencakup berbagai jenis kerusakan retak (*cracking*) yang umum terjadi pada perkerasan aspal akibat beban lalu lintas berulang, perubahan temperatur, penuaan material, dan pengaruh kondisi lapisan di bawahnya. Jenis retak yang termasuk dalam kategori ini meliputi retak lelah (*fatigue cracking*), retak blok (*block cracking*), retak tepi (*edge cracking*), retak memanjang (*longitudinal cracking*), retak refleksi pada sambungan (*reflection cracking at joints*), serta retak melintang (*transverse cracking*).

a. Retak lelah (*fatigue cracking*)

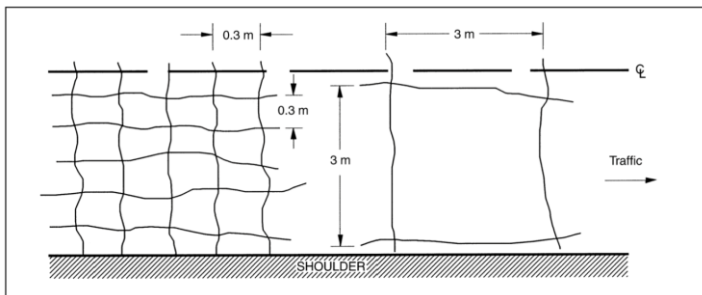
Fatigue cracking atau retak lelah merupakan kerusakan pada perkerasan lentur yang umumnya terjadi pada jalur roda. Retak muncul dari garis-garis halus yang kemudian berkembang menjadi retakan saling terhubung membentuk pola menyerupai kulit buaya (*alligator cracking*), yang menunjukkan terjadinya kelelahan pada lapisan aspal.



Gambar 9.1. *Fatigue cracking* pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014).

b. Retak blok (*block cracking*)

Block cracking merupakan kerusakan pada perkerasan lentur yang ditandai dengan pola retak yang membentuk bidang-bidang menyerupai blok persegi atau persegi panjang pada permukaan jalan. Ukuran blok yang terbentuk umumnya berkisar antara sekitar 0,1 hingga 10 m². Retak ini biasanya tidak terbatas pada jalur roda.

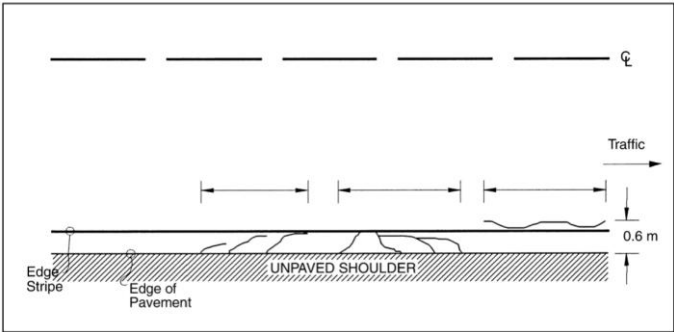


Gambar 9.2. *Block cracking* pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014).

c. Retak tepi (*edge cracking*)

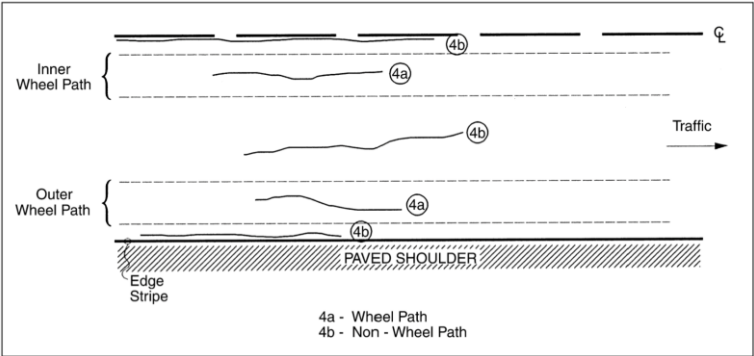
Jenis kerusakan ini hanya terjadi pada perkerasan yang memiliki bahu jalan tanpa lapisan perkerasan (bahu tanah). Retak biasanya berbentuk melengkung seperti bulan sabit atau retak yang hampir menyambung sepanjang tepi jalan, dan terletak pada bagian perkerasan yang dekat dengan tepi, yaitu sekitar 0,6

meter dari batas perkerasan yang berbatasan dengan bahu jalan. Kerusakan ini juga mencakup retak memanjang di luar jalur roda yang masih berada dalam jarak sekitar 0,6 meter dari tepi perkerasan.



Gambar 9.3. Retak tepi pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014).

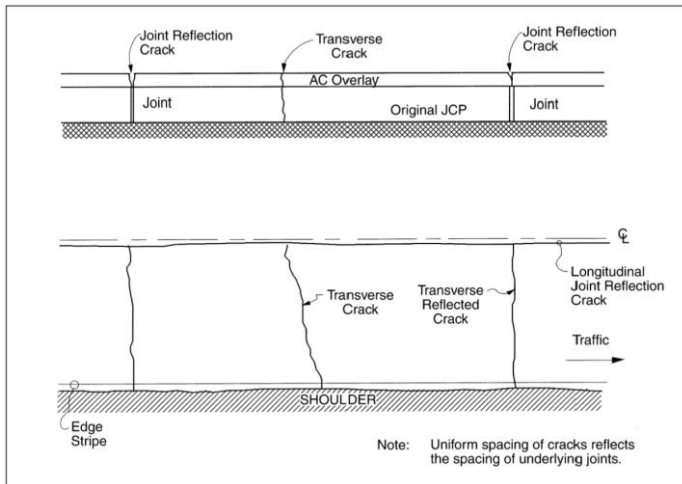
- d. Retak memanjang (*longitudinal cracking*)
- Retakan yang umumnya terjadi searah dengan panjang jalan atau sejajar dengan garis tengah perkerasan. Letak retakan di dalam lajur perlu diperhatikan, yaitu apakah terjadi pada jalur roda kendaraan atau di luar jalur roda, karena lokasi retak dapat menunjukkan penyebab kerusakan yang berbeda.



Gambar 9.4. Retak memanjang pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014).

- e. Retak refleksi pada sambungan (*reflection cracking at joints*)

Retak refleksi pada sambungan (*reflection cracking at joints*) adalah retakan yang muncul pada permukaan lapisan aspal (*overlay*) tepat di atas sambungan perkerasan beton di bawahnya. Retakan ini terjadi akibat pergerakan atau perubahan pada sambungan beton yang kemudian memicu terbentuknya retak pada lapisan aspal di atasnya.



Gambar 9.5. Retak refleksi sambungan pada perkerasan lentur

(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

- f. Retak melintang (*transverse cracking*).

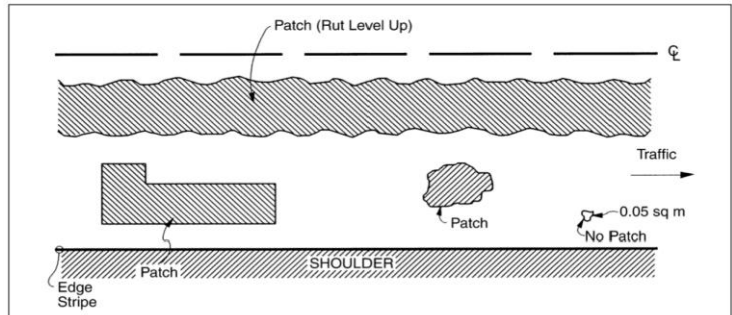
Retak melintang (*transverse cracking*) merupakan retakan yang umumnya terjadi dengan arah melintang atau tegak lurus terhadap garis tengah jalan.

2. Tambalan dan Lubang

- a. Tambalan

Tambalan / kerusakan pada tambalan (*patch/patch deterioration*) adalah bagian permukaan perkerasan dengan luas $\geq 0,1 \text{ m}^2$ yang telah dibongkar dan

diperbaiki atau ditambahkan material baru setelah konstruksi awal.



Gambar 9.6. Tambalan pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

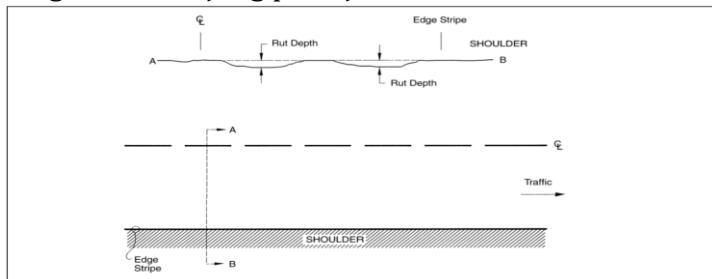
b. Lubang

Lubang (*potholes*) merupakan kerusakan pada permukaan perkerasan yang berbentuk cekungan menyerupai mangkuk dengan ukuran yang bervariasi. Lubang ini memiliki ukuran diameter minimum sekitar 150 mm. Untuk lubang berbentuk tidak beraturan, ukurannya tetap dianggap memenuhi jika dapat dimasuki lingkaran berdiameter 150 mm.

3. Deformasi permukaan (*surface deformation*)

a. *Rutting*

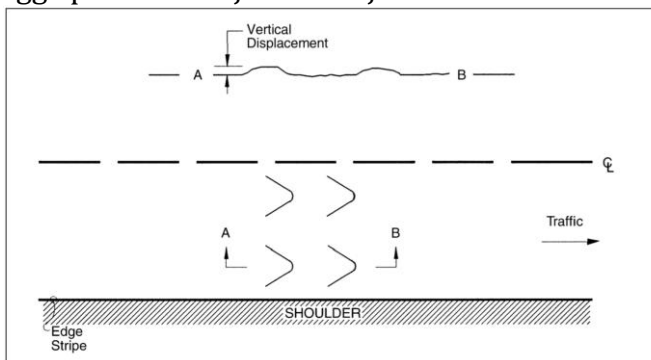
Rutting (alur) merupakan kerusakan pada permukaan perkerasan yang ditandai dengan penurunan atau cekungan memanjang pada jalur roda kendaraan.



Gambar 9.7. Alur pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

b. *Shoving*

Shoving merupakan kerusakan pada perkerasan yang ditandai dengan pergeseran lapisan permukaan secara memanjang pada area tertentu. Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh gaya horizontal dari kendaraan saat pengereman atau percepatan, sehingga sering terjadi pada tanjakan, tikungan, atau persimpangan. Selain pergeseran memanjang, shoving juga dapat disertai dengan perubahan ketinggian permukaan (deformasi vertikal), sehingga permukaan jalan menjadi tidak rata.



Gambar 9.8. *Shoving* pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

4. **Cacat permukaan (*surface defects*)**

a. *Bleeding*

Bleeding merupakan kerusakan pada perkerasan yang ditandai dengan munculnya aspal berlebih di permukaan jalan, yang umumnya terjadi pada jalur roda. Kondisi ini dapat bervariasi, mulai dari perubahan warna permukaan dibandingkan area sekitarnya, hingga hilangnya tekstur permukaan akibat tertutup aspal. Pada kondisi yang lebih parah, agregat dapat tertutup sepenuhnya oleh aspal sehingga permukaan tampak mengkilap seperti kaca. Kerusakan ini dapat menurunkan kekesatan permukaan dan berpotensi membahayakan keselamatan pengguna jalan.

b. *Polished aggregate*

Polished aggregate merupakan kondisi kerusakan pada perkerasan di mana lapisan pengikat (aspal) pada permukaan telah aus, sehingga agregat kasar menjadi terbuka dan mengalami penghalusan (*polishing*).

c. *Raveling*

Raveling merupakan kerusakan pada perkerasan yang ditandai dengan terlepasnya butiran agregat dari permukaan jalan akibat hilangnya ikatan aspal. Kerusakan ini dapat dimulai dari hilangnya butiran halus (*finer*), kemudian berkembang hingga lepasnya sebagian agregat kasar, dan pada kondisi lanjut menghasilkan permukaan yang kasar, berlubang kecil (*pitted*), dan kehilangan agregat secara jelas.



Gambar 9.9. *Ravelling* pada perkerasan lentur
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

5. Kerusakan lain-lain (*miscellaneous distresses*)

a. *Lane-to-shoulder dropoff*

Lane-to-shoulder drop-off merupakan kondisi di mana terdapat perbedaan ketinggian antara permukaan jalur lalu lintas dan bahu jalan. Kerusakan ini biasanya terjadi karena bahu jalan mengalami penurunan (*settlement*) akibat perbedaan material atau kekuatan antara lapisan perkerasan dan bahu.

b. *Water bleeding and pumping*

Water bleeding and pumping merupakan kondisi di mana air merembes atau terdorong keluar dari bawah perkerasan melalui retakan. Fenomena ini biasanya terjadi akibat tekanan berulang dari beban lalu lintas yang menyebabkan air dan material halus dari lapisan pendukung terdorong ke permukaan.

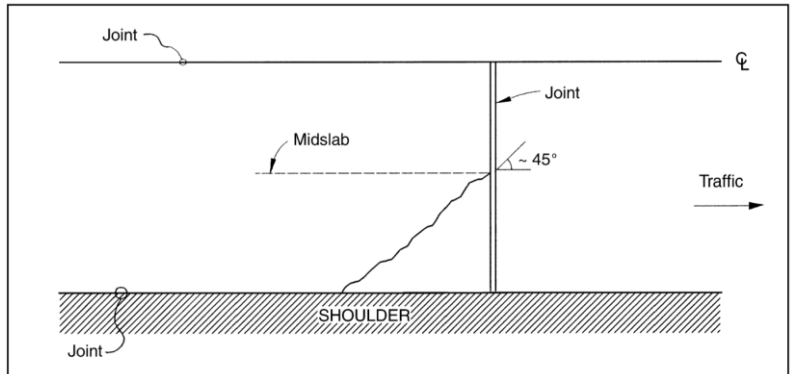
9.1.2 Kerusakan pada Perkerasan Kaku

Kerusakan pada perkerasan kaku berbasis beton semen (PCC) mencakup perkerasan beton bersambung tanpa tulangan maupun dengan tulangan, termasuk *overlay* beton di atas perkerasan eksisting. Untuk memudahkan identifikasi, kerusakan diklasifikasikan menjadi empat kategori utama, yaitu retak (*cracking*), kerusakan sambungan (*joint deficiencies*), cacat permukaan (*surface defects*), dan kerusakan lain-lain (*miscellaneous distresses*), yang mencerminkan mekanisme kegagalan pada perkerasan kaku.

1. Retak (*cracking*)

a. *Corner breaks*

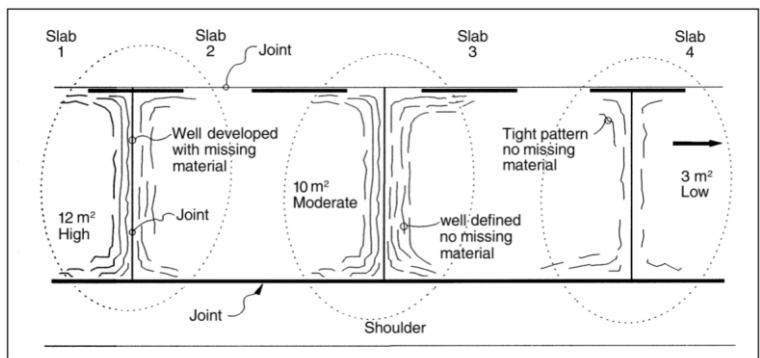
Corner breaks merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan terpisahnya sebagian sudut pelat beton akibat retakan. Retakan ini biasanya memotong sambungan melintang dan memanjang di dekat sudut pelat, dengan arah kira-kira membentuk sudut 45 derajat terhadap arah lalu lintas. Ukuran bagian yang terpisah bervariasi, dengan panjang sisi retakan berkisar antara 0,3 meter hingga setengah lebar pelat pada setiap sisi sudut.



Gambar 9.10. *Corner breaks* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

b. *Durability cracking ("D" cracking)*

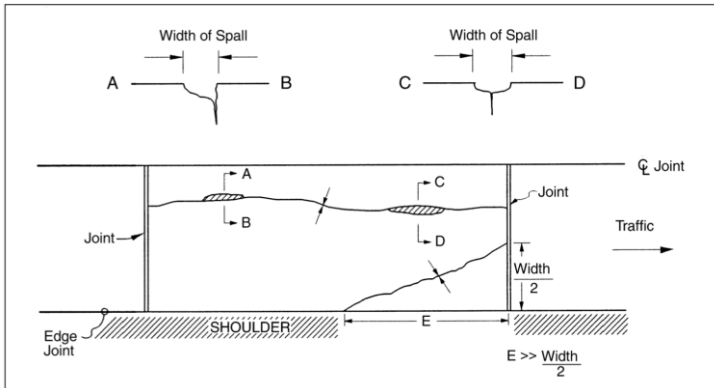
Durability cracking ("D" cracking) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan retakan halus berbentuk bulan sabit yang rapat dan saling berdekatan. Retak ini biasanya muncul di sekitar sambungan, retakan, atau tepi bebas pelat, dan umumnya dimulai dari sudut pelat beton. Area yang mengalami kerusakan sering terlihat lebih gelap dibandingkan sekitarnya akibat kelembapan atau degradasi material.



Gambar 9.11. *Durability cracking* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

c. *Longitudinal cracking*

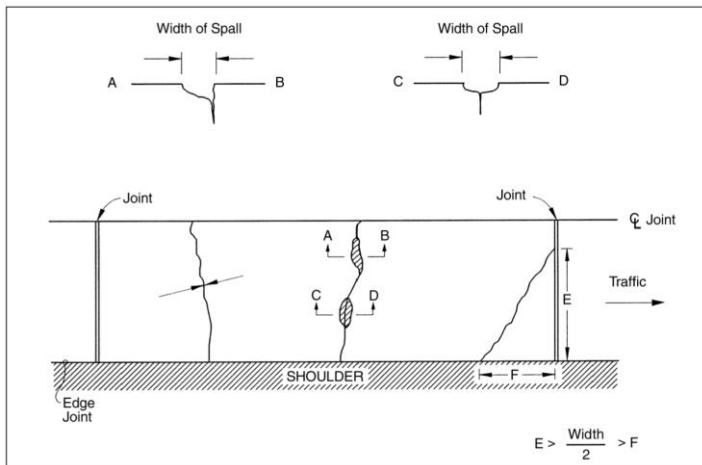
Retak memanjang (*longitudinal cracking*) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan retakan yang sejajar dengan garis tengah jalan.



Gambar 9.12. *Longitudinal cracking* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

d. *Transverse cracking*

Retak melintang (*transverse cracking*) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan retakan yang tegak lurus terhadap garis tengah jalan.



Gambar 9.13. *Transverse cracking* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

2. Kerusakan sambungan (*joint deficiencies*)

a. *Joint seal damage*.

Kerusakan seal sambungan (*joint seal damage*) merupakan kondisi di mana sealant pada sambungan tidak lagi berfungsi dengan baik sehingga memungkinkan air atau material padat masuk ke dalam sambungan dari permukaan. Kerusakan ini dapat berupa sealant yang keluar dari tempatnya (*extrusion*), mengeras, kehilangan daya rekat terhadap dinding sambungan (*adhesive failure*), retak atau terbelah (*cohesive failure*), hingga hilangnya sealant secara keseluruhan. Selain itu, kerusakan juga dapat ditandai dengan masuknya material asing seperti tanah atau pasir ke dalam sambungan, bahkan tumbuhnya rumput atau gulma.

b. *Spalling of longitudinal joints*

Spalling pada sambungan memanjang (*spalling of longitudinal joints*) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan retak, pecah, terkelupas, atau hancurnya tepi pelat beton pada area sekitar sambungan memanjang, biasanya dalam jarak hingga 0,3 meter dari tepi sambungan.

c. *Spalling of transverse joints*

Spalling pada sambungan melintang (*spalling of transverse joints*) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan retak, pecah, terkelupas, atau hancurnya tepi pelat beton di sekitar sambungan melintang, biasanya dalam jarak hingga 0,3 meter dari tepi sambungan.

3. Cacat permukaan (*surface defects*)

a. *Map cracking*

Map cracking (retak peta) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan serangkaian retakan yang terjadi pada lapisan permukaan atas pelat beton dan tidak menembus hingga ke bagian dalam. Retakan yang lebih besar biasanya searah dengan arah

memanjang jalan, kemudian dihubungkan oleh retakan-retakan yang lebih halus yang arahnya melintang atau tidak beraturan.



Gambar 9.14. *Map cracking* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

b. *Scaling*

Scaling merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan terkelupasnya lapisan permukaan atas pelat beton, biasanya dengan kedalaman sekitar 3 hingga 13 mm. Kerusakan ini dapat terjadi di berbagai bagian permukaan perkerasan



Gambar 9.15. *Scaling* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

c. *Polished aggregate*

Polished aggregate merupakan kondisi kerusakan pada perkerasan kaku yang terjadi ketika lapisan mortar

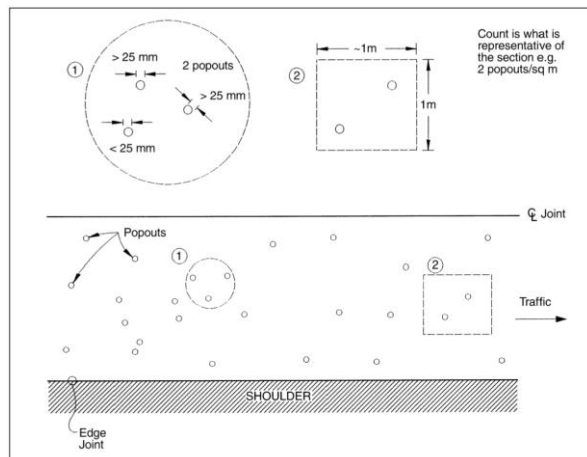
permukaan dan tekstur permukaan aus, sehingga agregat kasar menjadi terbuka.



Gambar 9.16. *Polished aggregate* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

d. *Popouts*.

Popouts merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan terlepasnya potongan kecil dari permukaan beton, sehingga membentuk cekungan kecil. Ukuran kerusakan ini umumnya berkisar antara 25 hingga 100 mm untuk diameter dan 13 hingga 50 mm untuk kedalaman.

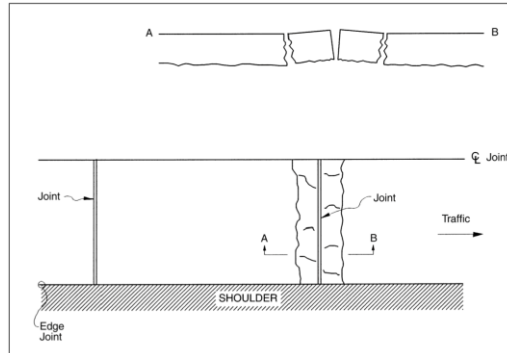


Gambar 9.17. *Popouts* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

4. Kerusakan lain-lain (*miscellaneous distresses*)

a. *Blowups*

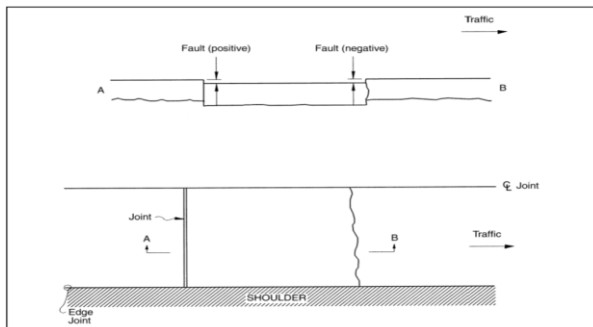
Blowups merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan terangkatnya permukaan jalan secara lokal, biasanya terjadi pada sambungan melintang atau retakan. Kerusakan ini sering disertai dengan pecahnya beton di area tersebut



Gambar 9.18. *Blowups* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

b. *Faulting of transverse joints and cracks*

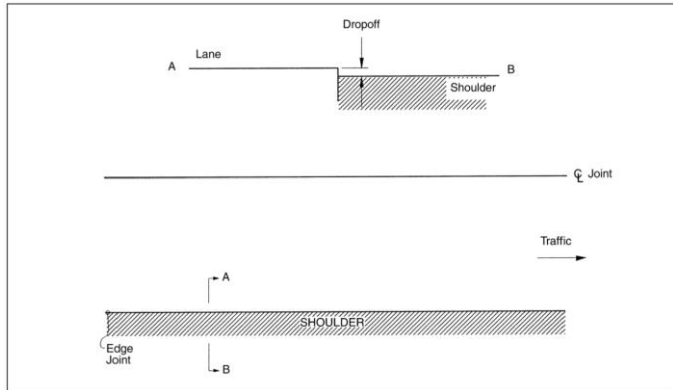
Faulting pada sambungan dan retak melintang (*faulting of transverse joints and cracks*) merupakan kerusakan pada perkerasan kaku yang ditandai dengan perbedaan ketinggian antara dua sisi pelat beton pada sambungan atau retakan.



Gambar 9.19. *Faulting of transverse joints and cracks* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

c. *Lane-to-shoulder dropoff*

Lane-to-shoulder drop-off merupakan kondisi di mana terdapat perbedaan ketinggian antara tepi pelat beton dan bahu jalan di luar perkerasan. Kerusakan ini biasanya terjadi karena bahu jalan mengalami penurunan (*settlement*).



Gambar 9.20. *Lane-to-shoulder dropoff* pada perkerasan kaku

(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

d. *Lane-to-shoulder separation*

Lane-to-shoulder separation merupakan kondisi di mana terjadi pelebaran celah antara tepi pelat beton dan bahu jalan.

e. *Patch/patch deterioration*

Patch/patch deterioration merupakan kondisi di mana sebagian ($\geq 0,1 \text{ m}^2$) atau seluruh pelat beton asli telah dibongkar dan diganti, atau ditambahkan material baru pada perkerasan setelah konstruksi awal. Area ini merupakan hasil perbaikan lokal, namun seiring waktu dapat mengalami penurunan kualitas seperti retak, terkelupas, atau tidak rata dibandingkan dengan permukaan di sekitarnya.

f. *Water bleeding and pumping*

Water bleeding and pumping merupakan kondisi di mana air merembes atau terdorong keluar dari bawah perkerasan melalui retakan atau sambungan. Hal ini biasanya terjadi akibat tekanan berulang dari beban lalu

lintas yang mendorong air dan material halus dari lapisan pendukung ke permukaan. Kondisi ini sering ditandai dengan adanya endapan material halus di permukaan jalan yang berasal dari lapisan di bawahnya.



Gambar 9.21. *Water bleeding and pumping* pada perkerasan kaku
(Sumber : U.S. Department of Transportation, 2014)

9.2 Mekanisme Terjadinya Kerusakan Perkerasan

Mekanisme kegagalan perkerasan adalah proses yang menjelaskan kerusakan pada jalan terjadi dan berkembang akibat pengaruh beban lalu lintas, kondisi lingkungan, material, serta dukungan tanah di bawahnya. Kerusakan ini tidak terjadi secara tiba-tiba, tetapi berlangsung secara bertahap, mulai dari kerusakan kecil hingga akhirnya perkerasan tidak lagi mampu berfungsi dengan baik. Meskipun bentuk kerusakan pada perkerasan lentur dan kaku berbeda, proses penyebabnya pada dasarnya serupa (Transportation Research Board, 2019).

Salah satu mekanisme utama adalah kelelahan (*fatigue*) akibat beban kendaraan yang berulang. Beban yang terus-menerus menyebabkan lapisan perkerasan mengalami tegangan berulang hingga akhirnya muncul retak. Pada perkerasan lentur, mekanisme ini ditunjukkan oleh retak leleh (*alligator cracking*), sedangkan pada perkerasan kaku ditunjukkan oleh retak pelat atau *corner break* akibat tegangan di sudut pelat. Perkembangan kerusakan sangat dipengaruhi oleh jumlah dan besar beban, ketebalan lapisan, serta kualitas dukungan tanah dasar.

Deformasi permanen terjadi ketika lapisan perkerasan atau tanah dasar tidak mampu menahan beban sehingga mengalami perubahan bentuk yang tidak kembali seperti semula. Pada perkerasan lentur, mekanisme ini menghasilkan *rutting*, *shoving*, dan penurunan (*settlement*) akibat pergerakan material atau konsolidasi berkelanjutan. Pada perkerasan kaku, deformasi lebih banyak terkait dengan penurunan dukungan di bawah pelat yang menyebabkan ketidakrataan atau faulting.

Air yang masuk ke dalam struktur perkerasan berperan penting dalam mempercepat kegagalan. Air dapat melemahkan ikatan antara agregat dan aspal (*stripping*) serta menyebabkan erosi material halus pada lapisan pondasi dan tanah dasar (*pumping*). Kondisi ini mengurangi kapasitas dukung, meningkatkan deformasi, dan mempercepat berkembangnya kerusakan seperti lubang (*potholes*) dan penurunan permukaan.

Seiring waktu, material perkerasan mengalami penurunan kualitas. Pada perkerasan lentur, penuaan aspal menyebabkan material menjadi kaku dan mudah retak serta terjadi pelepasan agregat (*ravelling*). Sedangkan pada perkerasan kaku dapat mengalami reaksi kimia tertentu yang menyebabkan retak dan ekspansi. Selanjutnya, perubahan temperatur dapat menyebabkan material memuai dan menyusut, sehingga menimbulkan retak. Pada perkerasan lentur, hal ini menyebabkan retak termal atau retak blok, sedangkan pada perkerasan kaku dapat menyebabkan pelat beton melengkung (*curling*) atau berubah bentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwan, D. (2023) "Effect of Repeated Traffic Loads on Most Significant Distresses of Flexible Pavement," *E3S Web of Conferences* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342703041>.
- Beskou, N. and Muho, E. (2023) "Review on dynamic response of road pavements to moving vehicle loads; part 2: Flexible pavements," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108248>.
- Fawzy, H.E.-D. *et al.* (2025) "Review of Pavement Performance Indicators: Measurements, Applications, and Limitations," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1530. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1530/1/012036>.
- Haas, R. (2014) "Life Cycle Management of Road Assets with Emphasis on Long Life Asphalt Pavements." Available at: <https://consensus.app/papers/life-cycle-management-of-road-assets-with-emphasis-on-long-haas/02af78c494c7570db31e57b46b1c9e66/>.
- Hatoum, A. *et al.* (2022) "Survival Analysis for Asphalt Pavement Performance and Assessment of Various Factors Affecting Fatigue Cracking Based on LTPP Data," *Sustainability* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/su141912408>.
- Llopis-Castelló, D. *et al.* (2020) "Influence of Pavement Structure, Traffic, and Weather on Urban Flexible Pavement Deterioration," *Sustainability* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12229717>.
- Mehdi, M. *et al.* (2021) "Analysis of structural and surface deteriorations of a flexible pavement, based on inspection results using the MCA method," *Materials Today: Proceedings* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.358>.
- Mirajhusnita, I. *et al.* (2021) "Analisis Tingkat Pelayanan Jalan Dan Evaluasi Struktur Perkerasan Jalan Pada Jalan Semeru, Jalan

- Pancasila Dan Jalan Kolonel Sudiarto," *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.46447/ktj.v8i2.328>.
- Prayudyanto, M.N., Alimuddin, A. and Suhendra, A. (2023) "Analisis Tebal Perkerasan Jalan dengan Metode AASHTO terhadap Kerusakan Ruas Jalan Cileungsi – Cinyongsong Udik, Kabupaten Bogor," *Jurnal Komposit* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i1.8062>.
- Rusmanto, U., Syafi'i and Handayani, D. (2018) "Structural and functional prediction of pavement condition (A case study on south arterial road, Yogyakarta)," 1977, p. 40014. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5042984>.
- Saputro, L.J.E. *et al.* (2023) "CARA MUDAH MENENTUKAN MATERIAL TERBAIK DALAM STRUKTUR JALAN MENGGUNAKAN METODE MARSHALL TEST," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.21216>.
- Sari, D.A. and Kisman, A. (2021) "Penilaian Kondisi Jalan Poros Sabbang Selatan Menggunakan Metode Surface Distress Index," *PENA TEKNIK*, 6(1), pp. 24–31. Available at: https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v6i1.616.
- Serin, S., Oğuzhanoglu, M.A. and Kayadelen, C. (2021) "Comparative analysis of stress distributions and displacements in rigid and flexible pavements via finite element method," *Revista de la construcción* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.7764/rdlc.20.2.321>.
- Transportation Research Board (2019) *National Cooperative Highway Research Program*.
- Tuati, A., Daud, D. and A.R., Z. (2023) "Perencanaan Struktur Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode MDPJ 2017 Pada Ruas Jalan Baumata – Penfui Kecamatan Taebenu Kabupaten Kupang," *Media Ilmiah Teknik Sipil* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.33084/mits.v11i3.6099>.
- U.S. Department of Transportation (2014) *Distress Identification Manual for The Long-Term Pavement Performance Program*.
- Zhang, H., Keoleian, G. and Lepech, M. (2013) "Network-Level

Pavement Asset Management System Integrated with Life-Cycle Analysis and Life-Cycle Optimization," *Journal of Infrastructure Systems*, 19, pp. 99–107. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000093](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000093).

BAB 10

EVALUASI KONDISI PERKERASAN JALAN

Perkerasan jalan merupakan bagian penting dari sistem transportasi darat yang berfungsi untuk menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar sehingga tidak terjadi kerusakan yang berlebihan. Seiring waktu, perkerasan jalan akan mengalami penurunan kondisi akibat pengaruh beban lalu lintas, faktor lingkungan, serta kualitas konstruksi awal (Hardiyatmo, 2015).

Evaluasi kondisi perkerasan jalan adalah suatu proses yang penting dalam manajemen perkerasan jalan. Evaluasi diperlukan untuk mengetahui tingkat kerusakan dan menentukan tindakan penanganan yang tepat. Tanpa evaluasi yang sistematis, perencanaan pemeliharaan jalan akan menjadi tidak efektif dan tidak efisien (Shahin, 2005).

10.1 Konsep Dasar Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah struktur berlapis yang dibangun di atas tanah dasar untuk mendukung beban kendaraan. Struktur ini terdiri dari lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, dan tanah dasar (*subgrade*) (Sukirman, 2010).

Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dibagi menjadi:

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikat utama, sedangkan perkerasan kaku menggunakan beton semen (Yoder & Witczak, 1975).

Evaluasi kondisi perkerasan jalan

Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan kondisi perkerasan jalan saat ini, mengidentifikasi kerusakan yang terjadi, dan menentukan prioritas perbaikan yang diperlukan. Tujuan Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan Tujuan evaluasi kondisi perkerasan jalan adalah:

1. Mengetahui kondisi aktual jalan
2. Mengidentifikasi jenis dan tingkat kerusakan
3. Menentukan prioritas penanganan
4. Mengoptimalkan anggaran pemeliharaan
5. Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan

Menurut Shahin (2005), evaluasi kondisi perkerasan merupakan bagian penting dari sistem manajemen perkerasan (Pavement Management System) yang digunakan untuk pengambilan keputusan berbasis data.

10.2 Metode Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

1. *Visual Inspection*

Visual inspection (inspeksi visual) merupakan metode evaluasi kondisi perkerasan jalan yang dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan untuk mengidentifikasi jenis, tingkat keparahan, dan luas kerusakan yang terjadi pada permukaan jalan. Metode ini merupakan teknik yang paling sederhana dan banyak digunakan dalam penilaian kondisi jalan karena tidak memerlukan peralatan yang rumit. Dalam pelaksanaannya, surveyor mencatat berbagai jenis kerusakan seperti retak, lubang, alur, dan pelepasan butir, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan kondisi perkerasan secara keseluruhan (Shahin, 2005).

Inspeksi visual sering digunakan dalam metode penilaian seperti *Pavement Condition Index* (PCI) dan *Surface Distress Index* (SDI), di mana hasil pengamatan diklasifikasikan berdasarkan jenis kerusakan, tingkat keparahan (ringan, sedang, berat), serta luas area kerusakan. Data yang diperoleh dari survei visual selanjutnya diolah untuk menghasilkan nilai indeks kondisi jalan yang bersifat

kuantitatif. Meskipun bersifat subjektif karena bergantung pada pengalaman dan ketelitian surveyor, metode ini tetap efektif sebagai langkah awal dalam evaluasi kondisi perkerasan (ASTM, 2012).

Kelebihan utama dari visual inspection adalah kemudahan pelaksanaan, biaya yang relatif rendah, serta kemampuan untuk mencakup area yang luas dalam waktu singkat. Namun, metode ini memiliki keterbatasan, yaitu tingkat akurasi yang dipengaruhi oleh faktor subjektivitas dan tidak mampu secara langsung menilai kondisi struktural perkerasan. Oleh karena itu, visual inspection sering dikombinasikan dengan metode lain, seperti pengujian lendutan atau pengukuran kekasaran, untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih komprehensif (Huang, 2004).

2. Pengujian Non-Destruktif

Pengujian non-destruktif (*Non-Destructive Testing/NDT*) merupakan metode evaluasi kondisi perkerasan jalan yang dilakukan tanpa merusak struktur perkerasan yang diuji. Metode ini digunakan untuk menilai kondisi struktural perkerasan secara cepat dan efisien, terutama dalam mengidentifikasi kemampuan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Keunggulan utama dari pengujian non-destruktif adalah kemampuannya untuk memperoleh data secara kontinu tanpa mengganggu fungsi jalan, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem manajemen perkerasan modern (Huang, 2004).

Salah satu alat yang umum digunakan dalam pengujian non-destruktif adalah *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, yang bekerja dengan memberikan beban impuls pada permukaan jalan dan mengukur respon lendutan perkerasan. Nilai lendutan yang dihasilkan digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur perkerasan serta menentukan kebutuhan perbaikan. Selain FWD, metode lain yang digunakan adalah *Benkelman Beam* untuk mengukur lendutan statis dan *Ground Penetrating Radar (GPR)* untuk mengetahui ketebalan lapisan perkerasan tanpa pembongkaran. Data dari pengujian ini memberikan

gambaran yang cukup akurat mengenai kondisi struktur perkerasan (AASHTO, 1993).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, pengujian non-destruktif juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti biaya peralatan yang relatif mahal dan memerlukan tenaga ahli dalam pengoperasian serta interpretasi data. Oleh karena itu, metode ini sering dikombinasikan dengan survei visual untuk memperoleh evaluasi kondisi perkerasan yang lebih komprehensif. Dengan penggunaan yang tepat, pengujian non-destruktif dapat membantu dalam perencanaan pemeliharaan dan rehabilitasi jalan secara lebih efektif dan efisien (Shahin, 2005)

3. Pengujian Destruktif

Pengujian destruktif merupakan salah satu metode evaluasi kondisi perkerasan jalan yang dilakukan dengan cara mengambil sampel atau merusak sebagian struktur perkerasan untuk mengetahui sifat material secara langsung. Metode ini umumnya dilakukan melalui pengambilan inti (*core drill*), penggalian lapisan perkerasan, serta pengujian laboratorium untuk mengetahui ketebalan lapisan, kepadatan, kadar aspal, dan karakteristik mekanik lainnya. Dengan pendekatan ini, data yang diperoleh cenderung lebih akurat dan detail karena pengujian dilakukan langsung pada material aktual di lapangan (Federal Highway Administration, 2017).

Meskipun memberikan hasil yang lebih representatif, pengujian destruktif memiliki kelemahan berupa kerusakan pada perkerasan yang memerlukan perbaikan setelah pengujian, serta waktu dan biaya yang relatif lebih besar dibandingkan metode non-destruktif. Oleh karena itu, metode ini biasanya digunakan secara terbatas untuk verifikasi hasil pengujian lain atau pada lokasi tertentu yang memerlukan analisis mendalam terhadap kondisi struktur perkerasan. Kombinasi antara pengujian destruktif dan non-destruktif sering digunakan untuk memperoleh gambaran kondisi perkerasan yang lebih komprehensif (Asphalt Institute, 2018).

10.3 Jenis Kerusakan Perkerasan Jalan

Kerusakan pada perkerasan jalan dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis dan penyebabnya.

1. Kerusakan Perkerasan Lentur

Kerusakan yang umum terjadi antara lain:

- a. Retak kulit buaya (*alligator cracking*) merupakan salah satu jenis kerusakan pada perkerasan lentur yang ditandai dengan pola retakan saling berhubungan menyerupai kulit buaya. Kerusakan ini umumnya terjadi akibat kelelahan (*fatigue*) pada lapisan perkerasan karena beban lalu lintas berulang yang melebihi kapasitas struktur, terutama pada area jalur roda kendaraan. Retak biasanya dimulai dari retakan halus di permukaan yang kemudian berkembang menjadi retakan yang lebih besar dan saling terhubung, sehingga dapat menyebabkan kerusakan yang lebih serius seperti pelepasan butir dan terbentuknya lubang jika tidak segera ditangani. Faktor penyebab utama retak kulit buaya antara lain ketebalan lapisan yang tidak mencukupi, kualitas material yang rendah, serta dukungan tanah dasar yang lemah (Huang, 2004; Shahin, 2005).
- b. Retak blok perkerasan lentur merupakan jenis kerusakan yang ditandai oleh pola retakan saling berpotongan membentuk blok-blok menyerupai persegi atau persegi panjang pada permukaan aspal, yang umumnya disebabkan oleh penuaan (*aging*) aspal, penyusutan termal, serta berkurangnya elastisitas pengikat akibat oksidasi, bukan dominan akibat beban lalu lintas; retakan ini biasanya muncul secara merata pada area yang luas dan menunjukkan bahwa lapisan permukaan telah kehilangan fleksibilitasnya sehingga mudah retak saat terjadi perubahan suhu (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).
- c. Alur (*rutting*) perkerasan lentur merupakan jenis kerusakan berupa deformasi permanen yang ditandai dengan terbentuknya cekungan memanjang pada jalur roda kendaraan, yang disebabkan oleh akumulasi regangan plastis akibat beban lalu lintas berulang, terutama pada lapisan aspal atau tanah dasar yang tidak memiliki stabilitas dan kepadatan

yang memadai; kondisi ini dapat diperparah oleh suhu tinggi yang menyebabkan aspal menjadi lebih lunak sehingga mudah mengalami aliran plastis, serta oleh desain struktur perkerasan yang kurang baik (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).

- d. Gelombang (*corrugation*) pada perkerasan lentur adalah jenis kerusakan permukaan yang ditandai dengan terbentuknya pola bergelombang melintang terhadap arah lalu lintas, biasanya terjadi akibat deformasi plastis pada lapisan aspal yang dipicu oleh gaya pengereman atau akselerasi kendaraan berulang, terutama pada lokasi seperti persimpangan, tanjakan, atau area berhenti; faktor penyebabnya meliputi campuran aspal yang tidak stabil, kadar aspal yang berlebih, serta kurangnya pemadatan sehingga permukaan menjadi mudah bergeser dan membentuk gelombang (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).
- e. Lubang (*potholes*) pada perkerasan lentur merupakan kerusakan berupa cekungan atau rongga pada permukaan jalan yang terjadi akibat pelepasan material perkerasan secara progresif, biasanya diawali oleh retak yang memungkinkan air masuk ke dalam lapisan sehingga melemahkan ikatan agregat dan aspal; beban lalu lintas yang berulang kemudian mempercepat kerusakan hingga terbentuk lubang yang dapat membahayakan pengguna jalan serta menurunkan kenyamanan berkendara (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).
- f. Pelepasan butir (*raveling*) pada perkerasan lentur adalah kerusakan yang ditandai dengan terlepasnya butiran agregat dari permukaan perkerasan akibat melemahnya ikatan antara agregat dan aspal, sehingga permukaan menjadi kasar, berpori, dan mudah mengalami kerusakan lanjutan; kondisi ini umumnya disebabkan oleh penuaan aspal, kadar aspal yang tidak mencukupi, pemadatan yang kurang baik, serta pengaruh cuaca dan lalu lintas yang berulang, yang pada akhirnya menurunkan kualitas pelayanan jalan (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).

Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh beban berulang dan kelemahan struktur perkerasan (Hardiyatmo, 2015).

2. Kerusakan Perkerasan Kaku

Pada perkerasan kaku, kerusakan yang sering terjadi meliputi:

- a. Retak sudut (corner crack) pada perkerasan kaku (rigid) adalah kerusakan berupa retakan yang muncul di sudut pelat beton dan biasanya membentuk sudut sekitar 45° dari tepi sambungan, yang terjadi akibat kombinasi beban lalu lintas berulang, kurangnya dukungan lapisan dasar (subbase), serta masuknya air yang menyebabkan erosi di bawah pelat; kondisi ini mengakibatkan penurunan kekuatan struktur lokal sehingga bagian sudut mudah patah atau terlepas, yang pada akhirnya dapat menurunkan kinerja dan umur layanan perkerasan (Federal Highway Administration, 2017; Portland Cement Association, 2002).
- b. Retak memanjang dan melintang pada perkerasan kaku (rigid) adalah jenis kerusakan berupa retakan yang sejajar atau tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada pelat beton, yang umumnya disebabkan oleh tegangan akibat perubahan suhu, susut beton, beban lalu lintas berulang, serta kurangnya dukungan dari lapisan dasar; retak ini dapat berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius jika tidak ditangani, karena memungkinkan masuknya air dan material halus yang dapat mempercepat penurunan daya dukung struktur perkerasan
- c. *Faulting* pada perkerasan kaku (rigid) adalah kerusakan yang ditandai dengan adanya perbedaan elevasi (step) antara dua pelat beton pada sambungan atau retakan, yang umumnya disebabkan oleh erosi lapisan pondasi akibat masuknya air, beban lalu lintas berulang, serta kurang efektifnya sistem transfer beban seperti dowel; kondisi ini menyebabkan ketidaknyamanan berkendara, meningkatkan getaran kendaraan, dan mempercepat kerusakan lanjutan pada struktur perkerasan jika tidak segera ditangani (Federal Highway Administration, 2017; Portland Cement Association, 2002).

- d. *Pumping* pada perkerasan kaku (rigid) adalah fenomena keluarnya air bercampur material halus dari bawah pelat beton melalui sambungan atau retakan akibat tekanan berulang dari beban lalu lintas, yang biasanya terjadi ketika terdapat air di lapisan pondasi dan sistem drainase yang kurang baik; proses ini menyebabkan erosi pada lapisan pendukung sehingga menurunkan daya dukung tanah dasar, yang pada akhirnya dapat memicu kerusakan lanjutan seperti *faulting* dan retak pada pelat beton
- e. *Spalling* pada perkerasan kaku (rigid) adalah kerusakan yang ditandai dengan terkelupas atau pecahnya tepi pelat beton di sekitar sambungan atau retakan, yang umumnya disebabkan oleh beban lalu lintas berulang, kelemahan pada sambungan, penetrasi air, serta ekspansi dan kontraksi akibat perubahan suhu; kondisi ini dapat mengurangi efektivitas transfer beban antar pelat dan mempercepat kerusakan lanjutan jika tidak segera diperbaiki.

Kerusakan ini biasanya disebabkan oleh perubahan temperatur, beban berlebih, serta kondisi tanah dasar yang kurang baik (Yoder & Witczak, 1975).

10.4 Parameter Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

1. Kekasaran Jalan

Kekasaran jalan merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kondisi perkerasan jalan yang menggambarkan tingkat ketidakrataan permukaan jalan. Kekasaran ini secara langsung mempengaruhi kenyamanan berkendara, keamanan, serta biaya operasional kendaraan. Permukaan jalan yang kasar menyebabkan getaran pada kendaraan, meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta mempercepat keausan komponen kendaraan. Oleh karena itu, pengukuran kekasaran jalan menjadi indikator utama dalam penilaian kinerja fungsional suatu jalan (Sayers et al., 1986).

Pengukuran kekasaran jalan umumnya dinyatakan dalam nilai ***International Roughness Index (IRI)***, yaitu

indeks standar internasional yang digunakan untuk mengukur tingkat ketidakrataan permukaan jalan. Nilai IRI dinyatakan dalam satuan meter per kilometer (m/km), di mana semakin besar nilai IRI menunjukkan kondisi jalan yang semakin kasar. Pengukuran IRI dilakukan menggunakan alat khusus seperti roughness meter atau profilometer yang merekam profil memanjang permukaan jalan. Nilai IRI yang rendah menunjukkan permukaan jalan yang halus dan memberikan kenyamanan berkendara yang lebih baik (Huang, 2004).

Dalam manajemen perkerasan jalan, kekasaran jalan digunakan sebagai dasar dalam menentukan tingkat pelayanan jalan dan kebutuhan pemeliharaan. Jalan dengan nilai IRI tinggi umumnya memerlukan tindakan perbaikan seperti overlay atau rehabilitasi. Selain itu, pemantauan kekasaran jalan secara berkala sangat penting untuk menjaga kualitas pelayanan jalan serta memperpanjang umur rencana perkerasan. Dengan demikian, kekasaran jalan tidak hanya berperan dalam aspek kenyamanan, tetapi juga sebagai indikator kinerja dan umur layanan perkerasan jalan (Shahin, 2005).

2. Kerusakan Permukaan

Kerusakan permukaan merupakan kerusakan yang terjadi pada lapisan paling atas perkerasan jalan yang secara langsung berinteraksi dengan beban lalu lintas dan faktor lingkungan. Kerusakan ini dapat berupa retak (*cracking*), lubang (*potholes*), pelepasan butir (*raveling*), alur (*rutting*), serta bleeding. Kerusakan permukaan umumnya menjadi indikator awal penurunan kinerja perkerasan jalan dan dapat mempengaruhi kenyamanan serta keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, identifikasi kerusakan permukaan menjadi bagian penting dalam evaluasi kondisi jalan (Hardiyatmo, 2015).

Penyebab kerusakan permukaan sangat beragam, antara lain beban lalu lintas yang berulang, pengaruh suhu dan cuaca, kualitas material yang kurang baik, serta sistem drainase yang tidak memadai. Retak pada permukaan sering

terjadi akibat kelelahan material akibat pembebanan berulang, sedangkan lubang biasanya terbentuk akibat air yang masuk ke dalam lapisan perkerasan dan melemahkan struktur. Selain itu, fenomena bleeding terjadi akibat kelebihan aspal di permukaan, sementara raveling disebabkan oleh lepasnya butiran agregat akibat ikatan yang lemah (Huang, 2004).

Evaluasi kerusakan permukaan biasanya dilakukan melalui survei visual menggunakan metode seperti *Pavement Condition Index* (PCI), yang mempertimbangkan jenis, tingkat keparahan, dan luas kerusakan. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menentukan jenis penanganan yang tepat, seperti pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, atau rehabilitasi. Penanganan yang tepat dan tepat waktu akan mencegah kerusakan yang lebih parah serta memperpanjang umur layanan perkerasan jalan (Shahin, 2005).

3. Kondisi Struktur:

Kondisi struktur perkerasan jalan mengacu pada kemampuan lapisan-lapisan penyusun perkerasan dalam menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas selama umur rencana. Struktur perkerasan umumnya terdiri dari lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, dan tanah dasar (*subgrade*). Setiap lapisan memiliki fungsi tertentu dalam menyebarkan beban agar tidak melebihi kapasitas dukung tanah dasar. Ketebalan lapisan, jenis material, serta kualitas pelaksanaan konstruksi menjadi faktor utama yang mempengaruhi kinerja struktur perkerasan (Huang, 2004).

Evaluasi kondisi struktur dilakukan untuk mengetahui kemampuan sisa perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Metode evaluasi dapat berupa pengujian lendutan menggunakan *Falling Weight Deflectometer* (FWD), uji CBR untuk tanah dasar, serta analisis struktural lainnya. Nilai lendutan yang tinggi menunjukkan bahwa struktur perkerasan telah mengalami penurunan kekuatan dan memerlukan penanganan, seperti perkuatan (*overlay*) atau rehabilitasi. Pendekatan ini penting dalam sistem

manajemen perkerasan untuk menentukan jenis penanganan yang paling efektif dan ekonomis (AASHTO, 1993).

Kondisi struktur yang tidak memadai dapat menyebabkan berbagai bentuk kerusakan, seperti retak lelah (*fatigue cracking*), deformasi permanen (*rutting*), dan penurunan (*settlement*). Kerusakan tersebut umumnya disebabkan oleh beban lalu lintas berulang yang melebihi kapasitas struktur atau akibat kualitas material yang rendah. Oleh karena itu, pemeliharaan dan evaluasi berkala sangat diperlukan untuk menjaga kinerja struktur perkerasan dan memperpanjang umur layan jalan (Hardiyatmo, 2015).

10.5 Teknik Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

1. *Pavement Condition Index (PCI)*

PCI adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi perkerasan jalan. Metode PCI merupakan metode penilaian kondisi perkerasan berdasarkan jenis, tingkat keparahan, dan luas kerusakan. Katagori penilaian berupa perankingan dari kondisi sangat buruk sampai sangat baik. Nilai PCI berkisar antara 0 sampai 100 (ASTM, 2012).

Menurut ASTM D6433-11:

- a. 85–100 : Sangat baik
- b. 70–85 : Baik
- c. 55–70 : Sedang
- d. 40–55 : Buruk
- e. < 40 : Sangat buruk

PCI dikembangkan untuk memberikan standar penilaian yang objektif dan konsisten dalam manajemen perkerasan, serta memudahkan pengambilan keputusan dalam prioritas perbaikan (ASTM International, 2013; U.S. Army Corps of Engineers, 2009).

2. *International Roughness Index (IRI)*

IRI adalah parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan jalan secara kuantitatif berdasarkan respons kendaraan terhadap profil permukaan jalan, sehingga mencerminkan kenyamanan berkendara dan kualitas layanan

jalan. Nilai IRI dinyatakan dalam satuan meter per kilometer (m/km), di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan permukaan jalan yang lebih halus, sedangkan nilai yang lebih besar menunjukkan kondisi yang lebih kasar; pengukuran IRI umumnya dilakukan menggunakan alat profilometer atau kendaraan survei khusus yang mampu merekam profil longitudinal permukaan jalan secara akurat, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk evaluasi kinerja perkerasan dan perencanaan pemeliharaan jalan (World Bank, 1995; Federal Highway Administration, 2017).

3. *Surface Distress Index (SDI)*

Surface Distress Index (SDI) adalah metode penilaian kondisi perkerasan jalan yang didasarkan pada hasil inspeksi visual terhadap jenis dan tingkat kerusakan permukaan, seperti retak, lubang, dan deformasi, yang kemudian dikonversi menjadi nilai indeks untuk menggambarkan tingkat kerusakan jalan secara keseluruhan. Nilai SDI digunakan sebagai indikator kondisi fungsional perkerasan dan sebagai dasar dalam penentuan program pemeliharaan jalan, di mana semakin tinggi nilai SDI menunjukkan kondisi kerusakan yang semakin berat; metode ini banyak digunakan dalam sistem manajemen jalan karena relatif sederhana, cepat, dan ekonomis untuk diterapkan di lapangan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

4. *Road Condition Index (RCI)*

Road Condition Index (RCI) adalah metode penilaian kondisi perkerasan jalan yang didasarkan pada tingkat kenyamanan berkendara yang dirasakan pengguna jalan, sehingga bersifat subjektif namun praktis untuk menggambarkan kondisi fungsional permukaan jalan. Penilaian RCI umumnya dilakukan melalui survei visual atau penilaian langsung oleh pengamat terhadap tingkat kerataan dan kenyamanan jalan, kemudian dikonversi ke dalam skala nilai tertentu, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kondisi jalan yang lebih baik; metode ini sering digunakan sebagai pelengkap parameter lain seperti IRI dan SDI dalam sistem manajemen jalan untuk memperoleh gambaran kondisi jalan yang lebih komprehensif (Direktorat

Jenderal Bina Marga, 2017; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

RCI merupakan metode subjektif berdasarkan kenyamanan berkendara pengguna jalan (Sukirman, 2010).

10.6 Jenis Evaluasi Kondisi Perkerasan

Evaluasi kondisi perkerasan dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu evaluasi fungsional dan struktural.

1. Evaluasi Fungsional

Evaluasi fungsional bertujuan untuk menilai tingkat kenyamanan dan keamanan pengguna jalan. Salah satu parameter yang digunakan adalah *International Roughness Index* (IRI) yang mengukur tingkat ketidakrataan permukaan jalan (Sayers et al., 1986).

Evaluasi fungsional pada kondisi perkerasan jalan merupakan penilaian yang berfokus pada kemampuan permukaan jalan dalam memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan. Parameter yang umum digunakan dalam evaluasi ini meliputi tingkat kekasaran permukaan, kerataan, serta tingkat kerusakan permukaan yang dapat mempengaruhi kenyamanan berkendara. Salah satu indikator yang sering digunakan adalah *International Roughness Index* (IRI), yang menggambarkan tingkat kekasaran jalan berdasarkan respons kendaraan terhadap profil permukaan jalan, sehingga dapat mencerminkan kualitas layanan jalan secara langsung (World Bank, 1995; Federal Highway Administration, 2017).

Selain IRI, evaluasi fungsional juga dapat dilakukan melalui metode berbasis kondisi permukaan seperti Pavement Condition Index (PCI) dan Surface Distress Index (SDI), yang menilai jenis, tingkat keparahan, dan luas kerusakan permukaan jalan. Metode ini memberikan gambaran mengenai kondisi visual perkerasan yang berpengaruh terhadap kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. Penilaian tersebut umumnya dilakukan melalui inspeksi visual dan digunakan untuk menentukan tingkat pelayanan jalan serta kebutuhan

pemeliharaan secara periodik (ASTM International, 2013; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

Evaluasi fungsional memiliki keunggulan karena relatif mudah dan cepat dilakukan serta tidak memerlukan pengujian yang merusak struktur perkerasan. Namun demikian, evaluasi ini tidak secara langsung menggambarkan kondisi struktural lapisan perkerasan, sehingga sering dikombinasikan dengan evaluasi struktural untuk memperoleh gambaran kondisi jalan yang lebih komprehensif. Dengan demikian, hasil evaluasi fungsional menjadi dasar penting dalam sistem manajemen jalan untuk menentukan prioritas penanganan dan strategi pemeliharaan yang tepat (Asphalt Institute, 2018).

2. Evaluasi Struktural

Evaluasi struktural bertujuan untuk mengetahui kemampuan perkerasan dalam menahan beban. Metode yang digunakan antara lain:

- a. Benkelman Beam
- b. *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Pengujian lendutan merupakan indikator penting dalam menilai kekuatan struktur perkerasan (Huang, 2004).

Evaluasi struktural pada kondisi perkerasan jalan merupakan penilaian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan struktur perkerasan dalam menahan beban lalu lintas selama umur rencana. Evaluasi ini tidak hanya berfokus pada kondisi permukaan, tetapi juga pada kekuatan dan kapasitas lapisan perkerasan serta tanah dasar (subgrade). Parameter yang dianalisis meliputi ketebalan lapisan, modulus elastisitas, serta respon lendutan akibat beban kendaraan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pengujian lendutan menggunakan alat seperti *Falling Weight Deflectometer* (FWD), yang mampu menggambarkan kondisi kekuatan struktur perkerasan secara non-destruktif dan cepat di lapangan (Federal Highway Administration, 2017).

Selain pengujian non-destruktif, evaluasi struktural juga dapat dilakukan melalui pengujian destruktif seperti pengambilan inti (*core drill*) dan penggalan lapisan perkerasan untuk mengetahui ketebalan serta sifat material secara langsung.

Metode ini memberikan hasil yang lebih akurat, namun memerlukan waktu dan biaya yang lebih besar serta menyebabkan kerusakan lokal pada perkerasan. Oleh karena itu, dalam praktiknya evaluasi struktural sering dilakukan dengan mengombinasikan kedua metode tersebut untuk memperoleh gambaran kondisi struktur perkerasan yang lebih komprehensif, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan rehabilitasi dan peningkatan kapasitas jalan (Asphalt Institute, 2018).

10.7 Prosedur Evaluasi Kondisi Jalan

Tahapan evaluasi kondisi jalan meliputi:

1. Persiapan survey pada evaluasi perkerasan jalan meliputi kegiatan perencanaan teknis seperti penentuan lokasi dan panjang ruas yang akan disurvei, penyusunan metode dan format pengumpulan data, serta penyiapan peralatan dan tim survei agar pengambilan data di lapangan dapat berjalan efektif dan akurat; tahap ini sangat penting untuk menjamin kualitas hasil evaluasi dan kesesuaian dengan tujuan penilaian kondisi jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).
2. Survei lapangan pada evaluasi perkerasan jalan merupakan kegiatan pengumpulan data kondisi jalan secara langsung di lokasi, baik melalui inspeksi visual maupun menggunakan alat ukur untuk menilai kerusakan permukaan, kekasaran, dan kondisi struktur perkerasan; data yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam penentuan nilai kondisi jalan serta perencanaan program pemeliharaan yang tepat
3. Analisis data pada evaluasi perkerasan jalan merupakan tahap pengolahan dan interpretasi data hasil survei untuk menentukan kondisi jalan secara kuantitatif, seperti melalui perhitungan indeks kondisi (PCI, SDI, atau IRI) serta identifikasi tingkat kerusakan dan kebutuhan penanganan; hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan prioritas pemeliharaan dan strategi penanganan yang efektif
4. Rekomendasi penanganan pada evaluasi perkerasan jalan merupakan tahap penentuan jenis tindakan perbaikan yang sesuai berdasarkan hasil analisis kondisi jalan, seperti

pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, rehabilitasi, atau rekonstruksi; pemilihan penanganan ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja jalan, meningkatkan keselamatan pengguna, serta memperpanjang umur layanan perkerasan secara efektif dan efisien

Tahapan atau proses evaluasi kondisi perkerasan dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1. Proses Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan
 Sumber: Hasil olahan berdasarkan ASTM (2012), Bina Marga (2017), Shahin (2005), dan Huang (2004).

Survei dapat dilakukan secara visual maupun menggunakan alat ukur, tergantung tingkat ketelitian yang diinginkan (Shahin, 2005).

10.8 Penanganan Perkerasan Jalan

Prioritas perbaikan perkerasan jalan ditentukan berdasarkan hasil evaluasi kondisi perkerasan jalan. Prioritas perbaikan meliputi:

1. Perbaikan Darurat: Perbaikan darurat adalah perbaikan yang harus dilakukan segera untuk mengatasi kerusakan yang membahayakan keselamatan pengguna jalan.

2. Perbaikan Rencana: Perbaikan rencana adalah perbaikan yang direncanakan untuk dilakukan dalam jangka waktu tertentu

Penanganan perkerasan jalan ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan, yaitu:

1. Pemeliharaan rutin Pemeliharaan rutin adalah kegiatan pemeliharaan jalan yang dilakukan secara berkala untuk menjaga kondisi perkerasan tetap dalam keadaan baik dan mencegah kerusakan berkembang lebih lanjut, seperti penambalan lubang, pembersihan drainase, dan perawatan permukaan; kegiatan ini penting untuk mempertahankan tingkat pelayanan jalan serta memperpanjang umur layan perkerasan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).
2. Pemeliharaan berkala adalah kegiatan penanganan jalan yang dilakukan pada interval waktu tertentu untuk mengembalikan kondisi perkerasan agar tetap memenuhi standar pelayanan, seperti pelapisan ulang (*overlay*) dan perbaikan struktural ringan; kegiatan ini bertujuan mencegah kerusakan lebih berat serta memperpanjang umur layanan jalan
3. Rehabilitasi adalah kegiatan perbaikan perkerasan jalan yang bertujuan mengembalikan kondisi struktural dan fungsional jalan yang telah mengalami kerusakan cukup berat, melalui penanganan seperti *overlay* tebal, perkuatan struktur, atau perbaikan lapisan perkerasan; tindakan ini dilakukan agar jalan dapat kembali melayani beban lalu lintas secara aman dan efisien
4. Rekonstruksi adalah penanganan perkerasan jalan yang dilakukan ketika kondisi kerusakan sudah sangat berat sehingga tidak dapat lagi diperbaiki dengan pemeliharaan atau rehabilitasi, dengan cara membongkar dan membangun kembali seluruh atau sebagian struktur perkerasan sesuai dengan desain yang baru; tindakan ini bertujuan mengembalikan fungsi jalan secara menyeluruh serta meningkatkan kapasitas dan umur layan perkerasan

Pemilihan metode penanganan harus mempertimbangkan kondisi struktur dan fungsi jalan (Huang, 2004).

10.9 Faktor Penyebab Kerusakan

Beberapa faktor yang mempengaruhi kerusakan perkerasan jalan antara lain:

1. **Beban lalu lintas** Beban lalu lintas merupakan salah satu penyebab utama kerusakan perkerasan jalan karena beban kendaraan yang berulang, terutama kendaraan berat dengan muatan berlebih, dapat menimbulkan tegangan yang melebihi kapasitas struktur perkerasan sehingga menyebabkan deformasi, retak, dan kerusakan lainnya.
Akumulasi beban lalu lintas ini secara langsung mempercepat penurunan kondisi jalan yang dapat tercermin pada nilai *Road Condition Index* (RCI), di mana semakin besar beban dan frekuensi lalu lintas maka nilai RCI cenderung menurun akibat berkurangnya kenyamanan dan kualitas layanan jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017; Federal Highway Administration, 2017).
2. **Faktor lingkungan** merupakan salah satu penyebab utama kerusakan perkerasan jalan karena pengaruh perubahan suhu, curah hujan, kelembaban, serta radiasi matahari dapat mempercepat degradasi material perkerasan. Variasi suhu menyebabkan ekspansi dan kontraksi pada lapisan perkerasan yang dapat memicu retak, sementara air hujan yang masuk melalui retakan dapat melemahkan ikatan material serta menurunkan daya dukung tanah dasar; selain itu, proses penuaan aspal akibat oksidasi juga menyebabkan perkerasan menjadi getas dan mudah rusak. Kombinasi faktor-faktor lingkungan tersebut berkontribusi terhadap penurunan kinerja perkerasan secara bertahap (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).
3. **Kualitas material** merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja dan umur layanan perkerasan jalan, karena penggunaan material yang tidak memenuhi spesifikasi—seperti agregat yang lemah, gradasi yang tidak sesuai, atau kadar

aspal yang tidak optimal—dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan dan stabilitas perkerasan.

Material yang berkualitas rendah cenderung mudah mengalami kerusakan seperti retak, deformasi, dan pelepasan butir akibat tidak mampu menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan; selain itu, proses produksi dan pelaksanaan yang kurang baik juga dapat memperburuk kualitas material yang digunakan, sehingga mempercepat terjadinya kerusakan perkerasan (Asphalt Institute, 2018; Federal Highway Administration, 2017).

4. Konstruksi merupakan salah satu penyebab kerusakan perkerasan jalan yang berkaitan dengan kualitas pelaksanaan di lapangan, seperti ketidaktepatan proses pemadatan, ketebalan lapisan yang tidak sesuai desain, serta pengendalian mutu yang kurang baik selama pekerjaan.

Konstruksi yang tidak memenuhi spesifikasi dapat menyebabkan terbentuknya rongga udara berlebih, ikatan antar lapisan yang lemah, serta distribusi beban yang tidak merata, sehingga perkerasan lebih rentan mengalami kerusakan seperti retak, deformasi, dan pelepasan butir dalam waktu relatif singkat; oleh karena itu, pengawasan dan pelaksanaan konstruksi yang sesuai standar sangat penting untuk menjamin kinerja dan umur layanan perkerasan (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).

5. Sistem drainase merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja perkerasan jalan, karena sistem drainase yang tidak baik dapat menyebabkan genangan air di permukaan maupun infiltrasi air ke dalam lapisan perkerasan dan tanah dasar. Air yang terperangkap di dalam struktur perkerasan dapat menurunkan kekuatan dan stabilitas material, mempercepat terjadinya erosi pada lapisan pondasi, serta memicu kerusakan seperti retak, lubang, *pumping*, dan deformasi; kondisi ini akan semakin parah apabila drainase tidak mampu mengalirkan air secara efektif, sehingga mempercepat penurunan umur layanan perkerasan jalan (Federal Highway Administration, 2017; Asphalt Institute, 2018).

Drainase yang buruk merupakan salah satu penyebab utama kerusakan dini pada perkerasan jalan (Hardiyatmo, 2015).

Penilaian atau identifikasi kerusakan berdasarkan parameter, jenis evaluasi dan metode/alat ukur dan satuannya kondisi perkerasan jalan disajikan pada Tabel 101.

Tabel 10.1. Parameter Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

No	Para meter	Jenis Evaluasi	Metode/Alat Ukur	Satuan	Keterangan
1	Retak (Cracking)	Fungsional	Survei visual / PCI	% luas	Mengukur luas dan tingkat retakan permukaan
2	Lubang (Potholes)	Fungsional	Survei visual / PCI	jumlah/m ²	Mengindikasikan kerusakan berat pada lapisan permukaan
3	Alur (Rutting)	Fungsional	Penggaris / profilometer	mm	Kedalaman deformasi permanen pada jalur roda
4	Kekasaran (Roughness)	Fungsional	Roughness meter / IRI	m/km	Mengukur kenyamanan berkendara
5	Pelepasan Butir (Raveling)	Fungsional	Survei visual	% luas	Lepasnya agregat pada permukaan jalan
6	Bleeding	Fungsional	Survei visual	% luas	Kelebihan aspal di permukaan
7	Penurunan (Settlement)	Struktural	Waterpass / alat ukur elevasi	mm	Penurunan permukaan akibat kegagalan tanah dasar
8	Lendutan (Deflection)	Struktural	Benkelman Beam / FWD	mm	Menunjukkan kekuatan struktur perkerasan
9	Skid Resistance	Fungsional	Skid tester	Koefisien	Menilai daya cengkeram permukaan
10	Kondisi Drainase	Pendukung	Observasi lapangan	Kualitatif	Pengaruh sistem drainase terhadap umur jalan
11	Volume Lalu Lintas	Pendukung	Traffic count	kendaraan/hari	Beban lalu lintas yang

No	Para meter	Jenis Evaluasi	Metode/Alat Ukur	Satuan	Keterangan
					mempengaruhi kerusakan
12	International Roughness Index (IRI)	Fungsional	Roughness meter	m/km	Standar internasional kekasaran jalan
13	Pavement Condition Index (PCI)	Fungsional	Analisis kerusakan	0-100	Indeks kondisi perkerasan
14	Surface Distress Index (SDI)	Fungsional	Survei visual	0-100	Indeks kerusakan permukaan jalan
15	Road Condition Index (RCI)	Fungsional	Penilaian subjektif	0-10	Berdasarkan kenyamanan pengguna

Sumber: Kompilasi dari beberapa standar Utama (PCI, SDI, IRI, Benkelman Beam, dll)

Sesuai Gambar 10.1 bahwa setelah adanya penilaian lanjut penentuan kondisi baik/buruknya berdasar identifikasi kerusakan (Tabel 10.1) dilanjutkan dengan prioritas berdasarkan Tabel 10.2 untuk penentuan opsi perbaikan yang dicantumkan pada laporan dan rekomendasi.

Tabel 10.2. Teknik Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

N o	Teknik Evaluasi	Jenis Evaluasi	Metode /Alat	Para meter yang Diukur	Kelebihan	Kekurangan
1	Survei Visual	Fungsional	Inspeksi lapangan	Retak, lubang, raveling, bleeding	Mudah dan murah	Subjektif, tergantung surveyor
2	Pavement Condition Index (PCI)	Fungsional	Analisis visual (ASTM D6433)	Jenis, luas, dan tingkat kerusakan	Standar internasional, sistematis	Membutuhkan waktu dan ketelitian
3	Surface Distress Index (SDI)	Fungsional	Survei visual Bina Marga	Retak, lubang, alur	Sederhana dan cepat	Kurang detail dibanding PCI
4	International Roughness Index (IRI)	Fungsional	Roughness meter	Kekasaran permukaan jalan	Objektif dan kuantitatif	Membutuhkan alat khusus
5	Road Condition Index (RCI)	Fungsional	Penilaian pengguna	Nyaman Berken dara	Cepat dan sederhana	Kurang akurat untuk lalu lintas tinggi
6	Benkelman Beam	Struktural	Alat Benkelman Beam	Lendutan perkerasan	Sederhana dan murah	Kurang akurat untuk lalu lintas tinggi

No	Teknik Evaluasi	Jenis Evaluasi	Metode /Alat	Parameter yang Diukur	Kelebihan	Kekurangan
7	Falling Weight Deflectometer (FWD)	Struktural	Alat FWD	Respon lendutan struktur	Akurat dan modern	Biaya tinggi
8	Ground Penetrating Radar (GPR)	Struktural	Radar bawah tanah	Tebal lapisan perkerasan	Non-destruktif	Interpretasi kompleks
9	Core Drill Test	Struktural	Pengambilan sampel inti	Tebal dan kondisi lapisan	Data sangat akurat	Merusak perkerasan
10	Skid Resistance Test	Fungsional	Skid tester	Daya Cengkeraman	Menilai keselamatan	Butuh alat khusus

Sumber: Diolah dari ASTM International (2014), Mohamed Y. Shahin (2005), Eldon J. Yoder & Michael W. Witczak (1975), serta Federal Highway Administration (2012).

Kesimpulan Evaluasi kondisi perkerasan jalan adalah suatu proses yang penting dalam manajemen perkerasan jalan. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan kondisi perkerasan jalan saat ini, mengidentifikasi kerusakan yang terjadi, dan menentukan prioritas perbaikan yang diperlukan. Dengan melakukan evaluasi kondisi perkerasan jalan, dapat meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, serta mengoptimalkan penggunaan dana perbaikan.

Evaluasi kondisi perkerasan jalan merupakan bagian penting dalam manajemen infrastruktur jalan. Metode seperti PCI, SDI, dan IRI memberikan dasar yang kuat dalam menentukan kondisi jalan dan tindakan penanganannya.

Dengan evaluasi yang tepat, umur layanan jalan dapat diperpanjang dan biaya pemeliharaan dapat dioptimalkan (Shahin, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2014). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys (ASTM D6433-11)*. ASTM International.
- Asphalt Institute. (2018). *MS-16 Asphalt in Pavement Maintenance*. Lexington: Asphalt Institute.
- ASTM. (2012). *Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys (ASTM D6433-11)*. ASTM International.
- Bina Marga. (2017). *Manual penilaian kondisi jalan*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Manual Pemeliharaan Jalan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Federal Highway Administration. (2017). *Pavement Distress Identification Manual*. Washington, DC: FHWA.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2016). *Pavement Management Systems*.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Pemeliharaan jalan raya*. Gadjah Mada University Press.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). Road vehicles — Measurement of road roughness by profilometry.
- Portland Cement Association. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Skokie: PCA.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Paterson, W. D. O. (1986). *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*. World Bank.
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement management for airports, roads, and parking lots* (2nd ed.). Springer.
- Sukirman, S. (2010). *Perkerasan lentur jalan raya*. Nova.

Yoder, E. J., & Witczak, M. W. (1975). *Principles of pavement design* (2nd ed.). Wiley.

BAB 11

PEMELIHARAAN DAN REHABILITASI PERKERASAN JALAN

Penyelenggaraan infrastruktur jalan sangat terkait dengan usaha mempertahankan kondisi jalan eksisting. Efisiensi menjadi isu utama yang melatarbelakangi pentingnya memelihara jalan agar kondisi jalan tetap mantap hingga mencapai umur rencana, sebab biaya pemeliharaan jalan nyatanya jauh lebih murah dibandingkan perbaikan jalan yang telah rusak.

Dalam praktik penyelenggaraan jalan, tujuan utama pemeliharaan bukan sekadar memperbaiki kerusakan yang tampak di permukaan, melainkan mempertahankan tingkat pelayanan, menekan percepatan deteriorasi, meningkatkan keselamatan, dan memperpanjang umur layanan dengan biaya siklus hidup yang rasional. Rehabilitasi diposisikan sebagai intervensi yang lebih mendalam ketika kapasitas struktural, kualitas fungsional, atau keandalan perkerasan telah menurun secara signifikan.

Konsep dasar manajemen perkerasan menekankan bahwa kerusakan jalan berkembang secara progresif. Pada tahap awal, kerusakan biasanya masih ringan dan dapat ditangani melalui intervensi berbiaya relatif kecil seperti penutupan retak, perawatan permukaan, atau tambalan lokal. Jika tindakan ini ditunda, air akan masuk ke struktur, kekuatan lapis menurun, deformasi bertambah, dan biaya penanganan melonjak karena diperlukan rehabilitasi yang lebih besar. Gagasan ini sejalan dengan literatur klasik manajemen perkerasan yang menunjukkan bahwa waktu intervensi sangat memengaruhi biaya siklus hidup dan sisa umur pelayanan (Haas, Hudson, & Zaniewski, 1994; Shahin, 2005).

Dalam praktik teknik jalan, istilah pemeliharaan dan rehabilitasi sering dipakai bersamaan, padahal keduanya memiliki ruang lingkup yang berbeda. Pemeliharaan umumnya mencakup kegiatan untuk mempertahankan kondisi agar penurunan tidak

berlangsung cepat, baik melalui tindakan rutin maupun berkala. Rehabilitasi mengarah pada pemulihan kondisi fungsional dan/atau struktural ketika kapasitas atau mutu pelayanan telah menurun secara nyata. Dengan kata lain, pemeliharaan bersifat preventif dan korektif ringan, sedangkan rehabilitasi cenderung korektif menengah hingga berat.

11.1 Pemeliharaan Jalan

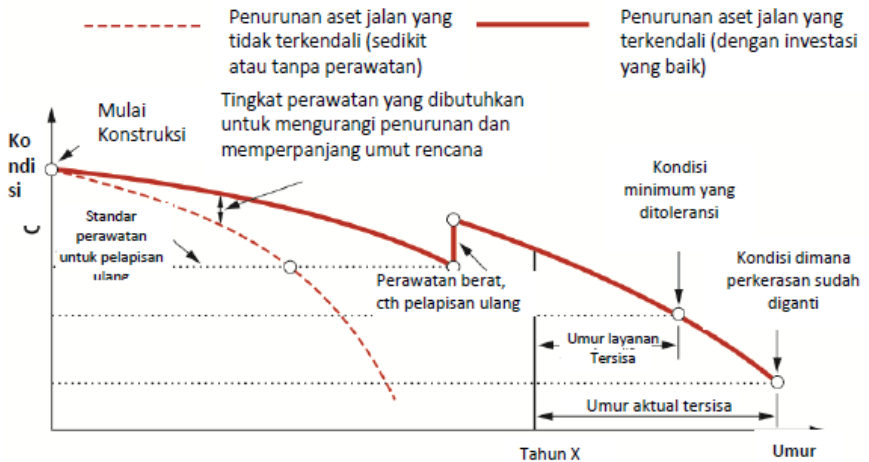
Sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011, pemeliharaan jalan adalah kegiatan penanganan jalan, berupa pencegahan, perawatan dan perbaikan yang diperlukan untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal melayani lalu lintas sehingga umur rencana yang ditetapkan dapat tercapai. Dalam permen tersebut setiap penyelenggara jalan memiliki kewajiban untuk menyusun rencana pemeliharaan jalan secara sistematis. Kegiatan pemeliharaan tersebut mencakup pemeliharaan rutin, pemeliharaan berkala, serta rehabilitasi jalan, termasuk penanganan bangunan pelengkap dan perlengkapan jalan.

Secara umum, rencana pemeliharaan jalan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu sistem informasi, sistem manajemen aset, dan rencana penanganan pemeliharaan. Sistem informasi berperan dalam mengelola proses pengumpulan, pengolahan, serta pemutakhiran data guna menghasilkan informasi yang akurat dan rekomendasi teknis dalam penanganan jalan. Data yang digunakan meliputi data inventarisasi jaringan jalan serta data kondisi jalan.

Selanjutnya, sistem manajemen aset mencakup kegiatan administrasi dan optimalisasi pemanfaatan seluruh bagian jalan, termasuk pengelolaan lebar jalan serta upaya preservasi aset jalan. Preservasi aset jalan merupakan rangkaian kegiatan pemeliharaan yang dalam kondisi tertentu dapat disertai dengan rekonstruksi pada bagian jalan yang telah direncanakan, misalnya akibat kerusakan karena bencana alam.

Pendekatan preservasi jalan harus dilakukan dengan mempertimbangkan seluruh siklus hidup jalan (*life cycle*), bukan hanya berorientasi pada kebutuhan jangka pendek. Hal ini bertujuan untuk menjaga kondisi jalan tetap berada pada tingkat pelayanan yang memenuhi standar dan dalam kondisi mantap. Apabila kegiatan

preservasi tidak dilaksanakan secara memadai atau tidak efektif, maka kondisi jalan akan mengalami penurunan secara cepat, sebagaimana umumnya ditunjukkan dalam kurva penurunan kinerja jalan.



Gambar 11.1. Tipikal penurunan kondisi jalan terhadap waktu

Rencana penanganan pemeliharaan jalan merupakan bagian penting dalam penyelenggaraan infrastruktur jalan yang bertujuan untuk menjaga fungsi, keamanan, kenyamanan, dan keberlanjutan pelayanan jalan. Rencana ini mencakup kegiatan pemeliharaan terhadap berbagai komponen jalan, meliputi jalur dan/atau lajur lalu lintas, bahu jalan, sistem drainase, bangunan pelengkap, perlengkapan jalan, serta lahan yang berada dalam ruang manfaat jalan (Rumaja) dan ruang milik jalan (Rumija). Pelaksanaan penanganan pemeliharaan dapat dilakukan melalui tindakan preventif, yaitu upaya pencegahan agar kerusakan tidak berkembang lebih lanjut, maupun tindakan reaktif sebagai respons terhadap kerusakan yang telah terjadi di lapangan.

Dalam penyusunannya, rencana penanganan pemeliharaan jalan harus memuat informasi yang lengkap dan sistematis. Informasi tersebut antara lain meliputi sumber pendanaan, mekanisme pemilihan penyedia jasa, nomor dan nama ruas jalan, jenis penanganan yang direncanakan, kebutuhan biaya, waktu

pelaksanaan, sistem pengadaan, serta pihak yang bertanggung jawab terhadap pelaksanaan kegiatan. Kelengkapan informasi tersebut sangat diperlukan agar proses pemeliharaan jalan dapat dilaksanakan secara terarah, efektif, efisien, dan akuntabel.

Sebagai bentuk keterbukaan informasi publik, penyelenggara jalan wajib menyampaikan rencana penanganan pemeliharaan jalan kepada masyarakat. Publikasi tersebut dapat dilakukan melalui media cetak, media elektronik, maupun situs resmi penyelenggara jalan, paling lambat pada akhir bulan Januari tahun berjalan. Kewajiban ini menunjukkan bahwa pengelolaan pemeliharaan jalan tidak hanya berorientasi pada aspek teknis, tetapi juga pada prinsip transparansi dan akuntabilitas dalam pelayanan publik.

Secara umum, rencana pemeliharaan jalan disusun melalui tahapan yang dimulai dari pendataan kondisi jalan. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh informasi faktual mengenai kondisi eksisting jalan sebagai dasar dalam menentukan prioritas penanganan. Berdasarkan hasil pendataan tersebut, selanjutnya dilakukan penentuan kebutuhan pembiayaan, lokasi prioritas, waktu pelaksanaan, dan jenis penanganan yang paling sesuai melalui proses pemrograman pemeliharaan jalan. Proses ini dapat dilaksanakan oleh petugas teknis maupun oleh penyedia jasa yang ditunjuk oleh penyelenggara jalan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pekerjaan pemeliharaan jalan pada dasarnya terdiri atas berbagai aktivitas yang dikelompokkan berdasarkan frekuensi pelaksanaan dan sumber pendanaannya. Pengelompokan ini penting agar setiap jenis kegiatan dapat direncanakan dan dilaksanakan sesuai dengan tingkat kebutuhan penanganan di lapangan. Dengan demikian, jenis pekerjaan pemeliharaan jalan tidak hanya dipahami sebagai kegiatan perbaikan fisik semata, tetapi juga sebagai rangkaian tindakan terencana yang mendukung keberfungsian infrastruktur jalan secara berkelanjutan.

Pekerjaan pemeliharaan jalan pada dasarnya mencakup berbagai bentuk kegiatan yang disusun menurut frekuensi pelaksanaan, tingkat kebutuhan penanganan, serta dukungan pendanaan yang tersedia. Pengelompokan tersebut diperlukan agar setiap jenis intervensi dapat direncanakan secara tepat sesuai

kondisi lapangan, tingkat kerusakan, dan prioritas penanganan. Dalam praktik manajemen jalan, pekerjaan pemeliharaan tidak hanya terbatas pada kegiatan rutin yang dilakukan secara berkala, tetapi juga meliputi penanganan kondisi tertunda, tindakan penunjang sementara, pemeliharaan berkala, pekerjaan khusus akibat keadaan darurat, hingga rehabilitasi pada ruas yang mengalami kerusakan lebih serius.

Jenis-jenis pekerjaan pemeliharaan jalan antara lain:

1. Pemeliharaan rutin (*routine maintenance*)

Pemeliharaan rutin merupakan bentuk penanganan jalan yang dilaksanakan secara berkala setiap tahun untuk mempertahankan aset jalan agar tetap berfungsi dengan baik. Kegiatan ini bersifat berulang dan ditujukan untuk memperlambat atau mencegah penurunan kondisi jalan secara lebih dini. Secara umum, pemeliharaan rutin dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis kegiatan.

Pertama, pekerjaan siklus, yaitu pekerjaan yang dilakukan berdasarkan interval atau frekuensi tertentu sesuai dengan standar pemeliharaan yang telah ditetapkan. Kegiatan dalam kelompok ini umumnya meliputi pemotongan vegetasi, pembersihan saluran drainase, serta pemeliharaan gorong-gorong.

Kedua, pekerjaan reaktif, yaitu pekerjaan yang dilakukan sebagai tanggapan terhadap kerusakan yang mulai muncul di lapangan. Jenis penanganannya ditentukan berdasarkan tingkat intervensi yang telah diatur dalam standar pemeliharaan. Salah satu contoh pekerjaan reaktif yang umum dilakukan adalah penambalan lubang pada perkerasan ketika kerusakan tersebut mulai memengaruhi kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

2. Pekerjaan tertunda dan minor atau *backlog and minor works* (BMW)/Rutin Kondisi.

Backlog and Minor Works (BMW), yang dalam beberapa konteks juga disebut sebagai pemeliharaan rutin kondisi, merupakan jenis penanganan yang berada di atas lingkup pemeliharaan rutin biasa dan umumnya memerlukan alokasi anggaran yang lebih besar untuk mempertahankan kondisi jalan pada tingkat

pelayanan tertentu. Kebutuhan terhadap pekerjaan ini biasanya timbul akibat keterlambatan, ketidaktepatan, atau ketidakcukupan pelaksanaan pemeliharaan berkala maupun rehabilitasi pada periode sebelumnya, sehingga kerusakan yang awalnya ringan berkembang menjadi lebih luas dan memerlukan intervensi yang lebih intensif. Penanganan BMW dapat mencakup elemen perkerasan maupun unsur nonperkerasan jalan, sesuai dengan kondisi nyata ruas jalan yang menjadi objek penanganan.

3. Pekerjaan penunjang (*holding treatment*)

Pekerjaan penunjang merupakan bentuk penanganan sementara yang diterapkan apabila kegiatan rehabilitasi atau pemeliharaan berkala belum dapat dilaksanakan dalam waktu dekat. Penanganan ini bertujuan untuk memastikan ruas jalan tetap dapat digunakan, meskipun tingkat pelayanannya masih terbatas, sambil menunggu pelaksanaan penanganan permanen. Bentuk pekerjaan penunjang dapat berupa penghamparan Agregat Tanpa Penutup (ATP) pada bagian jalan yang sudah sulit dilalui atau pada ruas yang mengalami kerusakan berat. Dengan demikian, pekerjaan penunjang berperan sebagai langkah transisi untuk menjaga aksesibilitas jalan sampai tersedia program penanganan yang lebih menyeluruh. Dalam praktiknya, jenis penanganan ini umumnya direncanakan untuk mendukung fungsi pelayanan jalan dalam jangka pendek hingga menengah, yaitu sekitar dua sampai lima tahun.

4. Pemeliharaan berkala (*periodic maintenance*)

Pemeliharaan berkala merupakan kegiatan pemeliharaan jalan yang dilaksanakan pada selang waktu tertentu, umumnya setelah beberapa tahun, untuk mempertahankan integritas permukaan jalan serta memperlambat penurunan kondisi fungsional dan struktural perkerasan. Penanganan ini dilakukan berdasarkan hasil evaluasi kondisi jalan dan diarahkan untuk menekan perkembangan kerusakan agar tidak menjadi lebih berat. Berbeda dengan pekerjaan penguatan struktural atau peningkatan kapasitas jalan, pemeliharaan berkala lebih difokuskan pada upaya menjaga tingkat pelayanan jalan tetap

memadai, bukan untuk meningkatkan kemampuan struktur maupun kapasitas geometrik ruas jalan.

Pada perkerasan berlapis aspal, bentuk pemeliharaan berkala dapat berupa laburan aspal, pelapisan ulang tipis yang bersifat nonstruktural, serta perbaikan pada permukaan dan bahu jalan. Adapun pada jalan nonaspal, penanganan berkala dapat dilakukan melalui penambahan material kerikil dan perataan badan jalan agar kondisi permukaan tetap layak dan aman untuk dilalui.

5. Pekerjaan Khusus

Di samping pekerjaan yang telah direncanakan, dalam penyelenggaraan jalan juga dikenal pekerjaan khusus, yaitu pekerjaan yang dilakukan untuk menangani kejadian tak terduga. Pekerjaan ini biasanya berkaitan dengan kondisi darurat, misalnya akibat bencana alam seperti longsor, banjir, atau gangguan lain yang menyebabkan ruas jalan tidak dapat dilalui. Penanganan tersebut dapat berupa upaya darurat untuk membuka kembali akses lalu lintas, perbaikan setempat pada bagian yang rusak, maupun tindakan sementara lain yang bertujuan memulihkan fungsi jalan secepat mungkin. Oleh karena sifatnya yang tidak terencana secara rutin, pendanaan untuk pekerjaan khusus umumnya bersumber dari pos anggaran darurat, anggaran khusus, atau dana cadangan yang telah disediakan untuk kondisi luar biasa.

6. Rehabilitasi

Rehabilitasi merupakan bentuk intervensi utama yang dilakukan pada ruas jalan dengan kondisi rusak berat. Rehabilitasi mencakup pekerjaan yang bersifat lebih substansial, seperti pelapisan ulang tebal yang bersifat struktural maupun rekonstruksi perkerasan, dengan tujuan mengembalikan kondisi jalan agar kembali mampu melayani lalu lintas secara memadai. Dalam praktiknya, rehabilitasi sering kali dipandang sebagai bagian dari upaya peningkatan mutu pelayanan jalan karena tidak lagi hanya menangani kerusakan permukaan, melainkan juga menysasar kemampuan struktur perkerasan secara lebih mendalam. Oleh sebab itu, pelaksanaan pekerjaan rehabilitasi memerlukan dukungan desain rinci agar solusi teknis yang

diterapkan benar-benar sesuai dengan tingkat kerusakan, beban lalu lintas, dan kondisi lingkungan setempat.

11.3 Tindakan Preventif dalam Pekerjaan

Manajemen Pemeliharaan Perkerasan Aspal

Penanganan pemeliharaan jalan yang dilakukan secara preventif bertujuan untuk membatasi jenis, tingkat, sebaran kerusakan, dan menunda kerusakan lebih lanjut, serta mengurangi jumlah kegiatan pemeliharaan rutin. Dalam Direktorat Jenderal Binamarga 2017 ada beberapa contoh penanganan pemeliharaan jalan secara preventif sebaik berikut:

1. Pengabutan Aspal Emulsi (*Fog Seal*)

Fog seal merupakan bentuk aplikasi tipis aspal emulsi tipe *slow setting* yang telah diencerkan dengan air, dengan karakteristik yang menyerupai lapis perekat (*tack coat*). Penanganan ini digunakan untuk menyegarkan kembali permukaan perkerasan aspal yang telah mengalami penuaan, menjadi kering, dan rapuh. Selain itu, *fog seal* juga berfungsi menutup retak-retak halus serta rongga-rongga kecil pada permukaan, sekaligus mengurangi terjadinya pelepasan butiran agregat (*raveling*).

Penerapan *fog seal* memberikan beberapa manfaat, antara lain memperlambat proses penuaan aspal, mengisi retak-retak halus dan pori-pori permukaan perkerasan, melapisi butiran agregat agar tidak mudah terlepas, serta meningkatkan kedekatan permukaan terhadap masuknya air. Dari sisi ekonomi, metode ini tergolong relatif murah. Namun, selama pelaksanaannya ruas jalan umumnya perlu ditutup sementara bagi lalu lintas kendaraan selama kurang lebih dua jam sampai bahan pengikat mengering.

Dalam aplikasinya, penggunaan *fog seal* harus dilakukan secara hati-hati agar tidak berlebihan, karena kelebihan aspal emulsi dapat menyebabkan permukaan menjadi lengket pada ban kendaraan atau bahkan menjadi licin. Untuk kondisi lalu lintas lambat, biasanya digunakan emulsi dengan tipe ikatan lambat (*slow setting*), sedangkan untuk ruas dengan lalu lintas yang lebih cepat dapat digunakan tipe ikatan cepat (*quick setting*).



Gambar 11.2. Implementasi *fog seal*

2. Laburan Aspal/ Perawatan permukaan (*Chip Seal*)

Chip seal adalah metode perawatan permukaan yang digunakan untuk membuat lapisan segel dan lapisan pelindung pada perkerasan aspal. Lapisan ini meningkatkan ketahanan air, daya tahan, mencegah penuaan, meremajakan permukaan jalan, dan meningkatkan ketahanan terhadap abrasi. Biasanya diterapkan pada jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Chip seal merupakan salah satu metode perawatan permukaan pada perkerasan aspal yang bertujuan membentuk lapisan penutup sekaligus lapisan pelindung. Penanganan ini berfungsi untuk meningkatkan kedekatan terhadap air, memperpanjang daya tahan perkerasan, menghambat proses penuaan permukaan, menyegarkan kembali kondisi lapisan jalan, serta meningkatkan ketahanan terhadap keausan. Umumnya, *chip seal* lebih banyak diterapkan pada ruas jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Pelaksanaannya dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan pengikat berupa aspal cair, aspal emulsi, atau aspal termodifikasi ke atas permukaan perkerasan, kemudian dilanjutkan dengan penebaran satu lapis agregat. Dengan metode ini, *chip seal* mampu memberikan beberapa manfaat penting, seperti melindungi perkerasan dari masuknya air melalui retak-retak permukaan ke lapisan struktur di bawahnya, memperbaiki kondisi permukaan yang mengalami pelepasan butir agregat, serta membentuk tekstur permukaan yang lebih kasar sehingga

dapat meningkatkan tahanan gelincir atau kekesatan perkerasan.



Gambar 11.3. Implementasi *chip seal*

3. Bubur Aspal (*Slurry seal*)

Slurry seal merupakan salah satu metode perawatan permukaan yang diterapkan pada perkerasan aspal untuk tujuan pemeliharaan preventif maupun korektif. Penanganan ini tidak dirancang untuk menambah kapasitas atau kekuatan struktural perkerasan, sehingga apabila lapisan perkerasan mengalami kelemahan struktural, kerusakan tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu sebelum slurry seal diaplikasikan. Campuran slurry seal umumnya tersusun atas agregat, bahan pengisi jika diperlukan, air, dan aspal emulsi yang dicampur dalam kondisi dingin menggunakan alat pencampur khusus. Selanjutnya, campuran tersebut dihindarkan pada permukaan perkerasan beraspal eksisting yang telah dipersiapkan, kemudian dipadatkan apabila diperlukan.

Slurry seal tidak berfungsi untuk menambah kapasitas atau kekuatan struktural perkerasan, sehingga pada perkerasan yang telah mengalami kelemahan struktur, perbaikan harus dilakukan terlebih dahulu sebelum lapisan ini diterapkan. Jika diaplikasikan dengan benar, *slurry seal* mampu mengurangi kerusakan permukaan akibat oksidasi dan kerapuhan, menutup

retak-retak halus, menahan terjadinya pelepasan butir agregat, serta meningkatkan ketahanan gesek dan penampilan permukaan jalan.

Keunggulan *slurry seal* antara lain adalah proses pelaksanaannya yang relatif cepat, menghasilkan lapisan penutup dengan susunan agregat yang rapat, serta memberikan tekstur permukaan yang baik, termasuk untuk kebutuhan pengecatan marka jalan. Jenis perawatan ini juga dapat memperbaiki ketidakrataan ringan pada permukaan, meminimalkan perubahan tinggi tepi jalan, dan umumnya tidak memerlukan penyesuaian pada elemen drainase seperti *gutter* atau *manhole*.



Gambar 11.4. Implementasi *Micro surfacing*

4. Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA)

LTBA merupakan campuran beraspal panas yang menggunakan gradasi agregat halus, dengan ukuran maksimum agregat sebesar 4,75 mm dan 9,5 mm. Teknologi ini dapat diterapkan dalam bentuk lapis tambah tipis maupun sebagai bagian dari strategi *mill and fill*, dengan ketebalan maksimum sekitar 30 mm

Penerapan teknologi ini memiliki beberapa keunggulan. Pada struktur perkerasan yang masih dalam kondisi baik, LTBA mampu memberikan umur layanan yang relatif panjang dengan *life cycle cost* yang lebih rendah. Selain itu, lapisan ini memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban lalu lintas berat serta tegangan geser yang tinggi. Dari

sisi fungsional, LTBA juga menghasilkan permukaan yang halus dan relatif kedap, sehingga dapat menurunkan tingkat kebisingan lalu lintas. Keunggulan lainnya adalah material ini relatif mudah untuk didaur ulang dan dipelihara.

Meskipun demikian, LTBA tidak ditujukan untuk meningkatkan kapasitas struktural perkerasan, melainkan lebih berfungsi sebagai penanganan fungsional dalam strategi preservasi jalan. Di samping itu, penerapan teknologi ini umumnya memerlukan biaya awal yang relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa metode penanganan lainnya.



Gambar 2.5. Implementasi LTBA

11.4 Pemrograman Preservasi Jaringan Jalan

1. *Indonesian Road Management System (IRMS)*

Pada jalan nasional, IRMS digunakan sebagai pedoman perencanaan dan pemrograman preservasi jaringan jalan yang mencakup pengumpulan data inventori dan kondisi jaringan jalan, perencanaan strategis jaringan jalan, serta pemrograman dan penganggaran preservasi. Pedoman ini secara tegas tidak mencakup perencanaan teknis, konstruksi, pengawasan, serta monitoring dan evaluasi pekerjaan preservasi, sehingga kedudukan IRMS sebagai instrumen analisis dan pengambilan keputusan pada tingkat jaringan jalan.

2. *Provincial/Kabupaten Road Management System (PKMRS)*

Aplikasi sistem program PKRMS merupakan perangkat lunak yang dikembangkan secara khusus agar mudah dioperasikan

untuk mendukung manajemen aset jalan daerah, terutama dalam kegiatan perencanaan, pemrograman, dan persiapan pekerjaan pemeliharaan jalan pada ruas jalan provinsi dan kabupaten. Jalan daerah pada umumnya memiliki karakteristik berupa jalan yang relatif sempit, dengan satu jalur lalu lintas yang terdiri atas dua lajur. Kehadiran PKRMS dimaksudkan untuk menjembatani kesenjangan antara IRMS, yang relatif lebih kompleks dan pada praktiknya lebih banyak digunakan oleh Bina Marga Pusat dengan fokus utama pada jalan nasional, dengan berbagai aplikasi elektronik maupun metode manual lain yang selama ini digunakan dalam pengelolaan jalan provinsi dan kabupaten.

Dalam pengoperasiannya, PKRMS memerlukan data standar jalan yang meliputi atribut ruas jalan, *data reference points*, data inventaris, kondisi jalan, serta data lalu lintas. Selain itu, sistem ini juga memungkinkan pengimporan data GPS *center line* secara opsional untuk mendukung penyusunan peta dasar dan penyajian informasi perencanaan yang dapat diintegrasikan dengan aplikasi pemetaan eksternal. Di samping itu, data *roughness* dalam bentuk IRI juga dapat dimasukkan ke dalam PKRMS dan dimanfaatkan dalam analisis penanganan jalan. Meskipun bersifat opsional, data tersebut dapat diperoleh dari hasil perekaman otomatis saat survei kondisi jalan menggunakan alat seperti *Roughometer*, *Roadroid*, atau perangkat sejenis lainnya.

3. **City Road Management System (CRMS)**

RMS merupakan sistem berbasis daring yang dirancang untuk mengintegrasikan kegiatan inspeksi jalan, perencanaan anggaran, serta persiapan pekerjaan pemeliharaan dalam satu platform terpadu. Sistem ini secara khusus dikembangkan untuk mendukung program pemeliharaan jalan kota. Sebelumnya, Direktorat Jenderal Bina Marga telah memiliki *Integrated Road Management System* (IRMS) sebagai instrumen manajemen aset untuk jalan nasional, serta *Provincial/Kabupaten Road Management System* (PKRMS) untuk jalan provinsi dan kabupaten. Dalam konteks tersebut, CRMS hadir untuk

melengkapi sistem manajemen aset jalan dengan fokus pada jalan kota, melalui antarmuka yang lebih ramah pengguna dan dukungan pilihan inventaris fasilitas jalan yang lebih sesuai dengan karakteristik kawasan perkotaan.

Pengoperasian CRMS diawali dengan pengumpulan data kondisi jalan menggunakan kendaraan survei yang dilengkapi kamera aksi. Data hasil perekaman tersebut kemudian diolah melalui aplikasi *Data Processing System–International Roughness Index* (DPS-IRI) sehingga menghasilkan nilai IRI yang konsisten dan andal. Selanjutnya, seluruh data tersebut diimpor ke dalam aplikasi berbasis web CRMS, yang berfungsi untuk mengelola dan menyajikan berbagai informasi terkait pemeliharaan jalan, mulai dari basis data jaringan jalan, prioritas penanganan, data inspeksi, rencana perbaikan, hingga laporan hasil perbaikan. Di samping itu, terdapat pula *Visual Inspection System* (VIS), yaitu aplikasi berbasis Android yang digunakan oleh inspektur untuk melakukan konfirmasi terhadap tingkat kerusakan, jenis penanganan yang diperlukan, dan volume perbaikan. Untuk mendukung keseluruhan ekosistem CRMS, pedoman ini juga telah menyusun prosedur inspeksi secara sistematis agar selaras dengan manual inspeksi yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021) *Surat Edaran Nomor 09/SE/Db/2021 tentang Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan (Bagian dari Manajemen Aset Prasarana Jalan)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2021). *Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 22/SE/Db/2021 tentang Manual Aplikasi Sistem Program Pemeliharaan Jalan Provinsi/Kabupaten atau Provincial/Kabupaten Road Management System (PKRMS) (Manual Nomor 04/M/BM/2021)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). *Surat Edaran Nomor 02/P/BM/2025 Pedoman Sistem Pemeliharaan Jalan Kota (City Road Management System)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024) *03/M/BM/2024 Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga; 2024.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017) *Panduan Pemilihan Teknologi Pemeliharaan Preventif Perkerasan Jalan*. Jakarta
- Kadir, Y., Desei, F. L., Achmad, F., et.al (2024). *Perancangan proyek perkerasan jalan*. CV Gita Lentera.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011) *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan*. Jakarta
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2023) *Surat Edaran Nomor 01/SE/M/2023 tentang Panduan Penggunaan Aplikasi PKRMS dalam Kegiatan Preservasi Jalan Provinsi dan Jalan Kabupaten*. Jakarta: Kementerian PUPR.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Milawaty Waris.,ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Bulukumba pada tanggal 10 Agustus 1981. Menyelesaikan kuliah di Universitas Tadulako pada program studi Teknik Sipil dan menyandang gelar lulusan terbaik Sarjana Teknik pada tahun 2005. Tahun 2014 melanjutkan Program Magister Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin pada konsentrasi Teknik Sistem Transportasi. Tahun 2019 melanjutkan studi di Universitas Hasanuddin Program Doktorat Ilmu Teknik Sipil dan menyandang gelar Doktor pada tahun 2024. Tahun yang sama di 2019 melanjutkan Program Profesi Insinyur di Universitas Hasanuddin dan menyandang gelar Insinyur pada Tahun 2020. Tahun 2015 sampai sekarang berprofesi sebagai Dosen di Universitas Sulawesi Barat dengan mengampu mata kuliah sesuai konsentrasi bidang ilmu. Tahun 2020 sampai sekarang mengemban amanah sebagai Asesor di bidang jasa konstruksi. Hingga saat ini penulis aktif menulis, baik di jurnal nasional maupun internasional, dan juga menulis buku sejak tahun 2020, baik yang sesuai dengan bidang ilmu maupun diluar dari bidang ilmu dengan judul buku diantaranya “*Spiritual mappalelo* Cakkuriri (Komunikasi Transendental masyarakat Mandar-Sendana), Angkutan Umum Massal, Moda Transportasi Berkelanjutan, Sistem Transportasi, dan lainnya”.

BIODATA PENULIS



Arnetha Sari Raintung,ST.,MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pembangunan Indonesia Manado

Penulis lahir di Manado tanggal 15 bulan Agustus Tahun 1985 Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Indonesia Manado. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil di Universitas Sam Ratulangi Manado dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Sipil di Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado. Pengalaman dalam menulis Jurnal Ilmiah berISSN dengan judul Perbandingan Pengukuran Kinerja Simpang Bersinyal Menggunakan Program Aasidra 2.0 dan MKIJ 1997 (Studi Kasus Persimpangan Paal 2 Manado) dan lainnya.

BIODATA PENULIS



Ramon Charles Rumambi, S.T., M.T.

Dosen Teknik Sipil

Universitas Katolik De La Salle Manado

Penulis adalah dosen di Universitas Katolik De La Salle Manado. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado. Pendidikan S2 juga diselesaikan Program Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado.

Penulis bergabung dengan Universitas Katolik De La Salle Manado pada tahun 2016 di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil. Penulis merupakan dosen yang mengajarkan mata kuliah teknik sipil untuk bidang ilmu teknik transportasi, baik mata kuliah wajib maupun pilihan.

BIODATA PENULIS



Ir. Margaretha Yuneta, S.T., M.T
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Universitas Nusa Nipa

Penulis lahir di Maumere, Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), pada 1 Juni 1996. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Nusa Nipa. Pendidikan Sarjana (S1) Teknik Sipil diselesaikan di Universitas Katolik Widya Mandira Kupang pada tahun 2018. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Magister (S2) Teknik Sipil dengan konsentrasi Manajemen Proyek Konstruksi di Universitas Udayana Bali dan lulus pada tahun 2022. Pada tahun 2024, penulis juga menyelesaikan Program Profesi Insinyur.

Sejak tahun 2022 penulis aktif mengajar beberapa mata kuliah di bidang teknik sipil, antara lain Mekanika Tanah, Analisa Struktur, Penjadwalan Proyek Berbantuan Komputer, Ekonomi Teknik, serta Teknik Gempa. Selain mengajar, penulis aktif melakukan penelitian dan publikasi ilmiah pada berbagai jurnal nasional, serta menulis pada beberapa book chapter.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Asep Suhana, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng

Dr. Ir. Asep Suhana, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng. merupakan praktisi dan akademisi dibidang Teknik Sipil. Penulis menyelesaikan Pendidikan Strata 3 (S3) di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Di dunia pendidikan, Penulis selain aktif sebagai dosen, ia juga diamanahkan menjadi Kepala Lembaga Penjaminan Mutu di Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung. Pengalaman mengajar dan meneliti yang penulis miliki sudah menghasilkan berbagai publikasi ilmiah, termasuk buku referensi dan buku ajar yang menjadi rujukan utama bagi mahasiswa dan praktisi. Di dunia konstruksi, Penulis aktif di beberapa organisasi profesi, sebagai pemegang sertifikat Insinyur profesional utama dan ASEAN Engineering dari persatuan insinyur Indonesia (PII), pemegang sertifikat ahli utama manajemen konstruksi dan ahli K3 dari BNSP. Selain itu penulis sudah memiliki beberapa penghargaan baik sebagai penulis publikasi jurnal, Penulis buku dan Pembicara seminar. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: asuhana1963@gmail.com

BIODATA PENULIS



Ahmad Utanaka, S.ST., M.T.

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan
Jembatan
Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi

Penulis lahir di Mataram tanggal 24 Desember 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi. Menyelesaikan pendidikan D4 pada Departemen Teknik Sipil dan melanjutkan S2 pada Departemen Teknik Sipil bidang Manajemen Rekayasa Transportasi. Penulis menekuni bidang Material Jalan, Keselamatan Jalan, serta Konstruksi Jalan Raya dan Jembatan.

BIODATA PENULIS



Annur Maruf, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional Malang

Penulis lahir di Biromaru tanggal 14 Januari 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil di Institut Teknologi Nasional Malang dan menempuh pendidikan Magister (S2) pada Jurusan Teknik Sipil Kekhususan Rekayasa Transportasi di Universitas Brawijaya. Selain beraktifitas sebagai Dosen/tenaga pengajar di Perguan Tinggi pada Program Studi Teknik Sipil, sejak tahun 2019 juga menekuni profesi sebagai penulis untuk literatur bidang Teknik Sipil secara umum dan secara khusus pada bidang Rekayasa Transportasi berupa artikel ilmiah untuk dipublikasikan pada jurnal dan proseding baik nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS



Muhammad Djaya Bakri

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

Alumni S1 Teknik Sipil dari Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin tahun 1993. Tahun 2007 lulus Program Magister (S-2) Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang dalam bidang Transportasi. Pada tahun 2015 menyelesaikan studi S3 di Program Doktor Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang dalam bidang Transportasi. Sejak tahun 2000 bekerja sebagai dosen tetap dan peneliti di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Disamping aktivitas mengajar, penulis juga aktif berkarier sebagai konsultan atau tenaga ahli studi transportasi untuk proyek-proyek yang berhubungan dengan perencanaan transportasi di lingkungan Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten/Kota se Provinsi Kalimantan Utara. Sejak tahun 2017 aktif sebagai pengurus dalam organisasi Persatuan Insinyur Indonesia, baik tingkat kota Tarakan, Provinsi Kalimantan Utara, maupun Pengurus Pusat PII.

BIODATA PENULIS



Wahyu Satyaning Budhi, S.ST., M.T.

Dosen Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan (TRKJJ)

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 03 Desember 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan (TRKJJ), Jurusan Teknik Sipil di Politeknik Negeri Banyuwangi. Menyelesaikan pendidikan D-IV sebagai Sarjana Sains Terapan (S.ST) di Program Studi D-IV Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) tahun 2018. Serta memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) setelah menempuh S-2 dengan bidang keahlian Teknik dan Manajemen Jalan Rel pada Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2020.

Penulis mengampu mata kuliah metodologi penelitian, gambar teknik terapan, mekanika teknik 1-3, mekanika tanah 1 dan 2, struktur beton 1 dan 2, praktik kerja kayu, praktik uji bahan perkerasan kaku, praktik uji bahan perkerasan lentur, dan perencanaan geometrik jalan. Saat ini penulis aktif sebagai peneliti sesuai bidang kepakaran pada ilmu Teknik sipil pada bidang Transportasi khususnya pada Perencanaan Jalan dan Jembatan serta teknologi dan perencanaan transportasi baik jalan raya dan jalan rel.

BIODATA PENULIS



DR. IR. H. ARQAM LAYA, M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

DR. IR. H. ARQAM LAYA, M.T., Adalah salah seorang dosen pada Departement of Civil Engineering, State University of Gorontalo. Lahir di Gorontalo Tahun 1964. Alumni: Insinyur Teknik Sipil Bidang Keahlian Rekayasa Struktur UNSRAT Manado (Lulus 1990), Magister Teknik Sipil Bidang Rekayasa Struktur UGM (Lulus 2007), dan Doktor Ilmu Geografi UGM (Lulus 2013) Bidang Keahlian Struktur & Mitigasi Bencana Alam Berbasis Geospasial. Jabatan Strutural Akademik pernah di emban: KAJUR Teknik Arsitektur UNG 2001-2005, Kepala Laboratorium Teknik Sipil UNG 2003-2005 & 2020-2023, KAPRODI Teknik Sipil UNG 2007-2009 & 2017-2023. Salah satu pendiri Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo, Jurusan Sipil Fakultas Teknik UNG dan Jurusan Sipil Universitas Gorontalo. Mengampu mata kuliah: Struktur Beton II, Struktur Baja II, Struktur Kayu dan Bambu, Analisis Struktur Statis Tertentu, Analisis Struktur Statis Tak Tentu, Kalkulus (II-III) dan Fisika untuk Teknik Sipil. Capaian karya tulis artikel dan buku yang telah diterbitkan, berupa artikel jurnal nasional dan international berkaitan tanah, infiltrasi, geomorphologi, kebencanaan. Dalam bentuk buku berkaitan dengan analisis struktur, teknologi beton, beton bertulang, jembatan BM 100. Selain sebagai akademisi, juga berkecimpung sebagai konsultan dan tenaga ahli di bidang Rekayasa Struktur Konstruksi Bangunan Sipil, Perencanaan Wilayah dan Kota, Mitigasi Bencana Alam, dan Asesor

Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti). Di bidang organisasi profesional, saat ini sebagai pengurus dan anggota PII, HATHI, HPJI, Aptekindo dan LPJK Provinsi Gorontalo. Bidang organisasi sosial sebagai pengurus & anggota Duango lo Adati Provinsi Gorontalo. Email: arqamlaya@gmail.com dan arqam@ung.ac.id

BIODATA PENULIS



Yuliyanti Kadir

Dosen tetap pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.

Yuliyanti Kadir lahir di Telaga, Kabupaten Gorontalo pada tanggal 30 April 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil di Universitas Sam Ratulangi, pendidikan Magister di program studi Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan melanjutkan program Doktor pada Program Studi Pendidikan Vokasi Dan Keteknikan di Universitas Negeri Makassar. Penulis menekuni bidang transportasi. Beberapa mata kuliah yang diampu penulis antara lain pemeliharaan jalan, Teknik Lalu Lintas, Dasar Dasar Transportasi, Perancangan Perkerasan Jalan, Manajemen Transportasi, dan Perancangan Transportasi