



PEDOMAN

No. 03 /P /BM /2025

Bidang Jalan

PERANCANGAN DAN PELAKSANAAN LAPIS FONDASI DAUR ULANG PERKERASAN DENGAN SEMEN DAN ASPAL EMULSI SECARA LANGSUNG DI TEMPAT



K E M E N T E R I A N P E K E R J A A N U M U M
D I R E K T O R A T J E N D E R A L B I N A M A R G A



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jalan Pattimura No. 20, Selong Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12110, Telp. (021) 7203165

Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga

SURAT EDARAN

NOMOR: 04 /SE/Db/2025

TENTANG

PEDOMAN PERANCANGAN DAN PELAKSANAAN LAPIS FONDASI DAUR ULANG
PERKERASAN DENGAN SEMEN DAN ASPAL EMULSI SECARA LANGSUNG DI
TEMPAT

A. Umum

Bahwa teknologi lapis fondasi daur ulang perkerasan terus berkembang, yang salah satunya melalui penggunaan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat. Pekerjaan lapis fondasi daur ulang secara umum bertujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur jalan, memperlambat penurunan kondisi jalan, dan memastikan jalan tetap berfungsi sesuai dengan umur rencana. Dengan demikian, teknologi lapis fondasi daur ulang perkerasan yang berkembang perlu dilengkapi dengan pedoman perancangan dan pelaksanaan sehingga segera dapat diterapkan oleh perencana teknis dan pelaksana pekerjaan.

Bahwa saat ini pedoman perancangan dan pelaksanaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat (*In-place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion* atau dingkat IRBCAE) belum tersedia. Melalui penyediaan pedoman, maka perancangan dan pelaksanaan pekerjaan diharapkan dapat memenuhi spesifikasi teknis pekerjaan serta memudahkan pengawasan di lapangan. Dari aspek teknis, penggunaan semen dan aspal emulsi secara langsung pada pekerjaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dapat mencegah penambahan lapis tambahan yang terus menerus karena semakin efisien dalam penggunaan material. Pedoman ini memberikan ketentuan rinci mengenai metode IRBCAE sehingga menjadikan kegiatan preservasi jalan melalui rekonstruksi menjadi semakin efektif dan ramah lingkungan.



Berdasarkan pertimbangan tersebut, perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi secara Langsung di Tempat.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 12, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6760);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
3. Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 366);
4. Keputusan Presiden Nomor 28/TPA Tahun 2025 tentang Perberhentian dan Pengangkatan dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum;
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 612);
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286);
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 955);
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 252);
9. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 01/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung di Tempat Dengan Bahan Serbuk Pengikat;

10. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 06/SE/M/2013 tentang Pedoman Rancangan dan Pelaksanaan Penghamparan Campuran Dingin Bahan Daur Ulang Beraspal Dengan Bahan Pengikat Aspal Busa;
11. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 16.1/SE/Db/2020 tentang Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2);
12. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 15/SE/Db/2024 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan 2024;

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi perencana teknis dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi untuk merancang dan melaksanakan pekerjaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung pada pekerjaan rekonstruksi jalan.

Surat Edaran ini bertujuan untuk melaksanakan rekonstruksi jalan dengan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung sehingga menjadikan kegiatan rekonstruksi jalan dapat berlangsung efisien, efektif, dan ramah lingkungan.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini menetapkan persyaratan/ketentuan mengenai metode, bahan, peralatan, prosedur perancangan campuran di laboratorium, pelaksanaan dan pengendalian mutu pekerjaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen serta aspal emulsi di lapangan.

E. Pengaturan Rancangan dan Pelaksanaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi secara Langsung di Tempat dengan Semen dan Aspal Emulsi

Ketentuan mengenai rancangan dan pelaksanaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat, meliputi:

1. Ketentuan Umum

Bagian ketentuan umum meliputi pengaturan tentang:

- a. pelaksanaan metode *In-place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion* (IRBCAE);
- b. bahan yang digunakan untuk campuran IRBCAE;
- c. sifat dan kekuatan campuran IRBCAE; dan

d. peralatan yang digunakan baik untuk pengujian laboratorium maupun lapangan.

2. Ketentuan Teknis

Bagian ketentuan teknis meliputi pengaturan tentang bahan yang meliputi perancangan campuran, percobaan lapangan, pelaksanaan pekerjaan di lapangan dan pengendalian mutu.

Ketentuan lebih rinci mengenai rancangan dan pelaksanaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi langsung di tempat dimuat dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. Penutup

Surat Edaran Direktur Jenderal ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 14 April 2025

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,



ROY RIZALI ANWAR

NIP 198104302003121006

PRAKATA

Pedoman perancangan dan pelaksanaan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat memuat ketentuan mengenai metode, bahan, peralatan, perancangan dan pelaksanaan, dan pengendalian mutu pekerjaan lapis fondasi daur ulang agregat lapis perkerasan. Pekerjaan mencakup penggunaan bahan aditif berupa semen dan aspal emulsi yang dicampur secara langsung di tempat.

Pedoman ini digunakan sebagai acuan bagi para perencana, pelaksana konstruksi, pengawas pekerjaan dan pihak-pihak lainnya terkait dengan rekonstruksi jalan dengan menggunakan metode lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat. Metode ini disebut juga dengan *In-Place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion* atau disingkat IRBCAE. Pedoman ini disusun berdasarkan hasil kajian laboratorium dan lapangan, dan dengan mengacu pada *Handbook for Asphalt Pavement Japan Road Association* tahun 2019.

Pedoman ini disusun oleh Balai Bahan Jalan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga dan telah dibahas dalam rapat yang diselenggarakan pada tanggal 11 Juli 2024 dihadiri oleh para pemangku kepentingan (*stakeholders*) terkait dan narasumber serta mengacu kepada ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, April 2025
Direktur Jenderal Bina Marga,



Roy Rizali Anwar

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
PENDAHULUAN	vi
1 Ruang Lingkup	1
2 Acuan Normatif.....	1
3 Istilah dan Definisi	2
4 Ketentuan Umum	3
4.1 Metode <i>In-Place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion</i> (IRBCAE).....	3
4.1.1 Metode IRBCAE Tanpa Proses Pengupasan (<i>Unmilling</i>) Lapis Perkerasan Beraspal	3
4.1.2 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (<i>Milling</i>) Sebagian Lapis Perkerasan Beraspal	4
4.1.3 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (<i>Milling</i>) Lapis Permukaan Aspal	5
4.2 Bahan	5
4.2.1 Agregat Daur Ulang	5
4.2.2 Aditif (Bahan Stabilisasi)	6
4.2.3 Air	6
4.3 Sifat dan Kekuatan Campuran IRBCAE	6
4.4 Peralatan	7
4.4.1 Peralatan Pengujian Laboratorium dan Lapangan	7
4.4.2 Peralatan Lapangan	7
4.4.2.1 Mesin Penggali-Dingin (<i>Cold Milling Machine</i>).....	7
4.4.2.2 Alat Penebar Semen	8
4.4.2.3 Alat Pencampur (<i>Stabilizer/Reclaimer</i>)	8
4.4.2.4 Truk Tangki Aspal Emulsi	9
4.4.2.5 Truk Tangki Air	9
4.4.2.6 Alat Pembentuk Permukaan (<i>Motor Grader</i>).....	9
4.4.2.7 Alat Pemadat Roda Karet Bertekanan (<i>Pneumatic Tyre Roller</i>).....	9
4.4.2.8 Alat Pemadat Roda Besi Halus (<i>Smooth Drum Roller</i>)	9
4.4.2.9 Peralatan Lainnya	9
5 Rancangan Campuran	9
5.1 Survei Kondisi Lapangan dan Pengambilan Contoh Agregat	10
5.2 Penyiapan Contoh Agregat	10
5.3 Pengujian Gradasi Agregat	10
5.4 Penentuan Gradasi Gabungan Agregat dan Kontrol Kesesuaiannya dengan Persyaratan	11
5.5 Penentuan Kadar Aspal Emulsi dan Kadar Semen	12
5.6 Penentuan Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum	12
5.7 Pengujian Kuat Tekan Bebas	14
5.8 Penentuan Kadar Semen Desain	16
5.9 Pelaporan	17
6 Percobaan Lapangan	17

7 Pelaksanaan Pekerjaan di Lapangan	18
7.1 Metode IRBCAE Tanpa Proses Pengupasan (<i>Unmilling</i>)	18
7.1.1 Penyiapan Permukaan	19
7.1.2 Penebaran Semen	19
7.1.3 Pencampuran	20
7.1.4 Pemadatan dan Pembentukan Akhir	21
7.1.5 Perawatan	21
7.2 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (<i>Milling</i>)	21
7.2.1 Penyiapan Permukaan	23
7.2.2 Penebaran Semen, Penebaran Aspal Emulsi, Pencampuran, Pemadatan dan Pembentukan Akhir, dan Perawatan	24
8 Pengendalian Mutu	24
8.1 Verifikasi Kondisi Awal Agregat Lapis Perkerasan yang Akan Didaur Ulang dan Pemeriksaan Kadar Air	24
8.2 Permukaan Lapis Perkerasan yang Akan Didaur Ulang	24
8.3 Penggemburan	24
8.4 Kadar Semen	25
8.5 Kadar Aspal Emulsi	25
8.6 Jumlah Semen Tertebat	25
8.7 Jumlah Aspal Emulsi Tertebat	26
8.8 Pencampuran	26
8.9 Kadar Air dan Kepadatan Lapangan	26
8.10 Kekuatan	27
8.11 Penyesuaian Dimensi Lapis IRBCAE	27
8.12 Waktu dan Lama Pengerjaan	28
8.13 Perawatan (<i>Curing</i>)	28
Bibliografi	29
Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa	30
Lampiran A (Normatif) Bagan Alir Perancangan Campuran Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi	31
Lampiran B (Informatif) Contoh Perancangan Campuran Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi di Laboratorium	32
Lampiran C (Informatif) Bahan dan Peralatan Laboratorium yang Disiapkan untuk Perancangan Campuran Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi	47
Lampiran D (Informatif) Kriteria Desain Struktural Perkerasan	51
Lampiran E (Informatif) Contoh Perhitungan Jumlah Aspal Emulsi Tertebat	54
Lampiran F (Informatif) Gambar Proses Pekerjaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi Langsung di Tempat	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1	- Gradasi gabungan atau campuran agregat yang didaur ulang.....	5
Tabel 2	- Spesifikasi aspal emulsi.....	6
Tabel 3	- Ketentuan sifat dan kekuatan campuran IRBCAE.....	7
Tabel 4	- Gradasi agregat lapis perkerasan beraspal terpasang.....	11
Tabel B.1	- Hasil perhitungan gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi.....	32
Tabel B.2	- Gradasi agregat setelah dimodifikasi.....	34
Tabel B.3	- Jumlah kebutuhan agregat per benda uji.....	35
Tabel B.4	- Penentuan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD)	37
Tabel B.5	- Data hasil perhitungan berat contoh agregat, semen dan aspal emulsi yang dipersiapkan per benda uji UCS.....	38
Tabel B.6	- Hasil pengujian UCS	39
Tabel B.7	- Hasil pengujian UCS	40
Tabel B.8	- Hasil pengujian UCS	41
Tabel B.9	- Resume hasil pengujian UCS, regangan primer, dan UCS residual	42
Tabel B.10	- Kadar semen desain beserta sifat dan kekuatan yang dihasilkan.....	43
Tabel C	- Daftar bahan dan peralatan untuk perancangan campuran di laboratorium	47
Tabel D.1	- Desain ketebalan lapis perkerasan berdasarkan kategori lalu lintas dan CBR tanah dasar	51
Tabel D.2	- Koefisien ekuivalen lapis perkerasan terpasang.....	51
Tabel D.3	- Ketebalan minimum lapis permukaan beraspal	52
Tabel D.4	- Ketebalan lapis fondasi daur ulang di tempat	52
Tabel D.5	- Koefisien ekuivalen lapis fondasi daur ulang di tempat	52
Tabel E	- Contoh perhitungan jumlah aspal emulsi tertebat	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	- Struktur perkerasan IRBCAE tanpa proses pengupasan lapis perkerasan beraspal terpasang.....	4
Gambar 2	- Struktur perkerasan IRBCAE dengan proses pengupasan sebagian lapis perkerasan beraspal terpasang.....	4
Gambar 3	- Struktur perkerasan IRBCAE dengan proses pengupasan lapis perkerasan beraspal terpasang.....	5
Gambar 4	- Mesin penggali dingin	8
Gambar 5	- Alat pencampur (<i>stabilizer/reclaimer</i>).....	9
Gambar 6	- Tipikal kurva penentuan OMC dan MDD.....	14
Gambar 7	- Tipikal kurva hubungan UCS dengan regangan.....	16
Gambar 8	- Tipikal kurva penentuan kadar semen desain.....	17
Gambar 9	- Prosedur pelaksanaan IRBCAE tanpa pengupasan.....	18
Gambar 10	- Bagan alir pelaksanaan IRBCAE tanpa pengupasan	19
Gambar 11	- Prosedur pelaksanaan IRBCAE dengan pengupasan (<i>milling</i>).....	22
Gambar 12	- Bagan alir pelaksanaan IRBCAE dengan pengupasan	23
Gambar A	- Bagan alir perancangan campuran daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal dan aspal emulsi.....	31
Gambar B.1	- Kurva hubungan kadar air (MC) – kepadatan kering (DD)	37
Gambar B.2	- Kurva hubungan UCS – Regangan benda uji no. 1	39
Gambar B.3	- Kurva hubungan UCS – Regangan benda uji no. 2	40
Gambar B.4	- Kurva hubungan UCS – regangan benda uji no. 3	41
Gambar B.5	- Kurva hubungan antara kadar semen dengan UCS dan penentuan kadar semen desain.....	44
Gambar B.6	- Kurva hubungan antara kadar semen dengan regangan primer	44
Gambar B.7	- Kurva hubungan antara kadar semen dengan UCS residual dan penentuan UCS residual desain.....	45
Gambar B.8	- Kurva hubungan antara kadar semen dengan OMC dan penentuan OMC untuk pengendalian pemadatan di lapangan	45
Gambar B.9	- Kurva hubungan antara kadar semen dengan MDD dan penentuan MDD untuk pengendalian pemadatan di lapangan	46
Gambar D	- Tipikal hasil desain perkerasan jalan.....	55
Gambar F.1	- Proses pekerjaan pengupasan aspal dengan <i>cold milling machine</i>	55
Gambar F.2	- Penebaran semen secara manual	55
Gambar F.3	- Alat <i>road stabilizer</i> terhubung dengan tangki aspal.....	56
Gambar F.4	- Proses penggarukan dan pencampuran dengan gigi pada drum (rotor) alat <i>road stabilizer</i>	56
Gambar F.5	- Hasil pencampuran perkerasan dengan semen dan aspal emulsi	57
Gambar F.6	- Pemadatan awal dengan alat pemadatan roda karet.....	57
Gambar F.7	- Pemadatan dengan <i>vibratory roller</i>	58
Gambar F.8	- Hasil akhir dari stabilisasi perkerasan jalan dengan IRBCAE	58

PENDAHULUAN

Penanganan jalan dengan cara penambahan lapis tambahan (*overlay*) yang terus menerus dapat mengakibatkan lapis perkerasan semakin tebal. Penanganan tersebut bersama dengan peningkatan kebutuhan agregat yang memenuhi standar. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan teknologi daur ulang pada lapis fondasi. Daurlang yang dilakukan menggunakan perkerasan terpasang untuk lapis fondasi dengan menambahkan aditif berupa semen dan aspal emulsi. Pelaksanaannya adalah pencampurannya langsung di tempat (*In-Place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion*, IRBCAE). Pelaksanaan teknologi ini merupakan salah satu alternatif penanganan kegiatan rekonstruksi jalan yang efektif dan efisien. Teknologi dapat memperbaiki atau meningkatkan kekuatan agregat lapis perkerasan serta bersifat lebih fleksibel, tahan lama, mudah dan cepat dalam pelaksanaan, dan penghematan sumber daya. Teknologi ini juga sesuai digunakan di daerah-daerah rawan gempa dengan lalu lintas ringan sampai dengan lalu lintas tinggi.

Pedoman ini menguraikan ketentuan perancangan dan pelaksanaan pekerjaan lapis fondasi daurlang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi secara langsung di tempat, mencakup ketentuan metode, bahan dan campuran, peralatan, cara atau prosedur rancangan campuran, pelaksanaan dan pengendalian mutu pekerjaan di lapangan.

Perancangan campuran (*mix design*) teknologi ini dimaksudkan untuk mendapatkan kadar aspal emulsi dan kadar semen yang diperlukan untuk menghasilkan nilai kuat tekan bebas, regangan primer (*primary displacement*) dan kekuatan residual (*residual strength*) sesuai dengan standar atau persyaratan teknis yang berlaku, dan kadar air optimum maupun kepadatan kering maksimum untuk pengendalian pemadatan campuran di lapangan.

Pelaksanaan teknologi ini dapat dilakukan dengan 3 (tiga) metode, yaitu tanpa proses pengupasan (*unmilling*), dengan proses pengupasan (*milling*) sebagian lapis perkerasan beraspal terpasang, dan dengan proses pengupasan (*milling*) seluruh lapis perkerasan beraspal terpasang. Kriteria yang digunakan pada saat penentuan metode pekerjaannya, yaitu didasarkan pada tebal lapis perkerasan beraspal. Selain berdasarkan ketebalan lapis perkerasan beraspal, jumlah kendaraan berat dan pemenuhan gradasi gabungan agregat juga menentukan metode yang digunakan.

Secara ringkas, berikut ini dijelaskan metode yang disampaikan pada pedoman ini. Metode *unmilling* digunakan apabila tebal lapis perkerasan beraspal terpasang sama atau kurang dari 10 cm. Metode *milling* digunakan apabila tebal lapis perkerasan beraspal terpasang lebih dari 10 cm, sehingga di dalam proses pelaksanaannya, sebagian ketebalan lapis perkerasan beraspal harus dikupas terlebih dahulu. Pengupasannya dilakukan sampai mencapai ketebalan maksimum lapis perkerasan beraspal yang didaurlang 10 cm. Metode *milling* juga digunakan apabila lapis perkerasan terpasang yang didaurlang hanya berupa lapis fondasi agregat, seluruh ketebalan lapis perkerasan beraspal terpasang dikupas dan dikeluarkan dari area pekerjaan. Tahapan pelaksanaan teknologi di lapangan adalah mencakup penebaran semen, penebaran aspal emulsi, pencampuran, pemadatan dan pembentukan, serta dilanjutkan dengan perawatan.

Perancangan dan Pelaksanaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi secara Langsung di Tempat

1 Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan persyaratan atau ketentuan-ketentuan mengenai metode, bahan, peralatan, prosedur perancangan campuran di laboratorium, pelaksanaan dan pengendalian mutu pekerjaan lapis fondasi daur ulang perkerasan terpasang dengan semen, serta aspal emulsi di lokasi pekerjaan.

Perkerasan terpasang yang dimaksudkan dalam pedoman ini meliputi agregat lapis fondasi dengan atau tanpa agregat lapis perkerasan beraspal yang lama, yang telah mengalami penurunan sifat dan kekuatan, dan agregat baru apabila diperlukan untuk perbaikan gradasi atau penyesuaian elevasi perkerasan.

Proses pencampuran agregat perkerasan terpasang dengan semen dan aspal emulsi dilakukan langsung di tempat (*in-place*) atau disebut metode *In-place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion* dan disingkat IRBCAE dengan menggunakan alat pencampur (*road stabilizer*) dan dipadatkan sampai mencapai tingkat kepadatan lapangan sesuai dengan ketentuan.

2 Acuan Normatif

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 01/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung di Tempat Dengan Bahan Serbuk Pengikat

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 06/SE/M/2013 tentang Pedoman Rancangan dan Pelaksanaan Penghamparan Campuran Dingin Bahan Daur Ulang Beraspal Dengan Bahan Pengikat Aspal Busa

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 16.1/SE/Db/2020 tentang Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)

SNI 03-3642-1994, Metode pengujian kadar residu aspal emulsi dengan penyulingan

SNI 05-6414:2002, Spesifikasi timbangan yang digunakan pada pengujian bahan

SNI 4798:2011, Spesifikasi aspal emulsi kationik

SNI 1971:2011, Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan

SNI 3643-2012, Metode uji persentase partikel aspal emulsi yang tertahan saringan 850 mikron

SNI ASTM C136-2012, Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar (ASTM C136-06, IDT)

SNI 6887:2012, Metode uji kuat tekan silinder campuran tanah-semen

SNI 6889:2014, Tata cara pengambilan contoh uji agregat (ASTM D75/ D75M-09, IDT)

SNI 03-6088-2015, Spesifikasi agregat untuk lapis fondasi, lapis fondasi bawah dan bahu jalan

SNI 8321:2016, Spesifikasi agregat beton (ASTM C33/C33M-13, IDT)

SNI 2489:2018, Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat *Marshall*

SNI 2049:2021, Semen portland

SNI 7064:2022, Semen portland komposit

SNI 1974:2023, Metode uji untuk kekuatan tekan spesimen beton silinder (ASTM C39-2-, IDT)

3 Istilah dan Definisi

3.1

agregat gabungan

campuran atau gabungan agregat perkerasan terpasang yang didaur ulang dengan atau tanpa agregat baru

3.2

aspal emulsi

aspal berbentuk cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi sehingga diperoleh partikel aspal yang bermuatan listrik positif (kationik) atau negatif (anionik) atau tidak bermuatan listrik (nonionik)

3.3

aspal emulsi kationik

aspal cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi jenis kationik sehingga partikel-partikel aspal bermuatan ion positif

3.4

aspal emulsi kationik mengikat lambat

yang selanjutnya disingkat CSS adalah aspal emulsi bermuatan positif yang aspalnya memisah dari air secara lambat setelah kontak dengan agregat

3.5

bahan perkerasan terpasang

bahan atau agregat perkerasan yang lama dan telah mengalami penurunan kekuatan dan perubahan sifat, yaitu agregat lapis fondasi dengan atau tanpa agregat perkerasan beraspal

3.6

daur ulang perkerasan terpasang

penggunaan kembali bahan atau agregat perkerasan terpasang menjadi agregat perkerasan yang baru yang umumnya diterapkan pada pekerjaan rehabilitasi atau rekonstruksi jalan

3.7

in-place recycling base by cement and asphalt emulsion

yang selanjutnya disingkat IRBCAE adalah lapis fondasi daur ulang perkerasan yang dicampur langsung di tempat dengan penambahan semen dan aspal emulsi, dan dipadatkan

3.8

kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*)

yang selanjutnya disingkat UCS adalah besarnya tegangan maksimum pada waktu pengujian sampai benda uji mengalami keruntuhan dengan nilainya diperoleh dari kurva hubungan antara tegangan dan regangan

3.9

***primary displacement* (regangan primer)**

besarnya penurunan regangan yang terjadi pada saat UCS mencapai nilai maksimum yang nilainya diperoleh dari kurva hubungan antara regangan dan UCS

3.10

rehabilitasi jalan

kegiatan penanganan pencegahan kerusakan yang meluas dan yang kerusakan tersebut tidak diperhitungkan dalam desain dan berakibat terhadap menurunnya kondisi kemantapan di bagian/tempat tertentu di suatu ruas jalan dengan kondisi rusak ringan yang dikembalikan pada kondisi kemantapan sesuai dengan rencana

3.11

rekonstruksi jalan

peningkatan struktur yang merupakan kegiatan penanganan untuk dapat meningkatkan kemampuan bagian ruas jalan yang berada dalam kondisi rusak berat agar bagian jalan tersebut mempunyai kondisi mantap kembali sesuai dengan umur rencana yang ditetapkan

3.12

residual strength

yang selanjutnya disingkat UCS residual adalah kekuatan yang dinyatakan dengan nilai UCS pada saat penurunan (regangan) sama dengan dua kali regangan primer, yang nilainya diperoleh dari kurva hubungan antara regangan dan UCS yang kondisi jalan yang menggambarkan seberapa banyak material mengalami perubahan bentuk atau deformasi permanen setelah beban atau tegangan dihilangkan, merujuk pada deformasi yang tetap ada dalam material setelah siklus pembebanan dan pembebasan

3.13

stabilisasi

suatu tindakan perbaikan mutu bahan perkerasan jalan atau peningkatan kekuatan bahan sampai kekuatan tertentu agar bahan tersebut dapat berfungsi dan memberikan kinerja yang lebih baik dari pada bahan aslinya

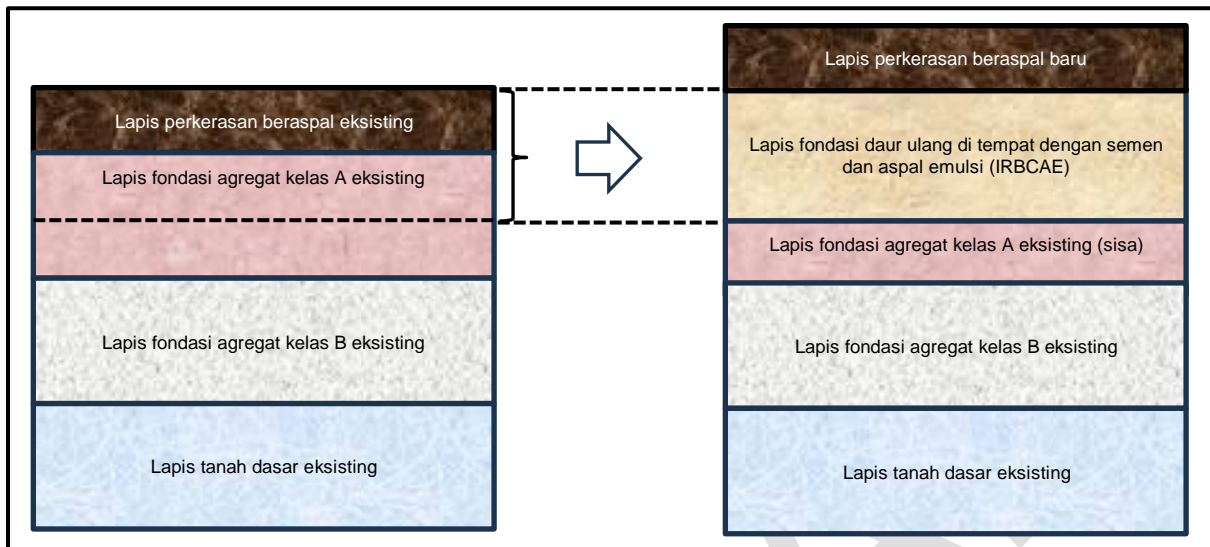
4 Ketentuan Umum

4.1 Metode *In-place Recycling Base by Cement and Asphalt Emulsion* (IRBCAE)

4.1.1 Metode IRBCAE tanpa Proses Pengupasan (*Unmilling*) Lapis Perkerasan Beraspal

Metode ini digunakan apabila lapis perkerasan beraspal relatif tipis (kurang atau sama dengan 10 cm), elevasi permukaan jalan memungkinkan untuk ditinggikan dan jumlah kendaraan berat

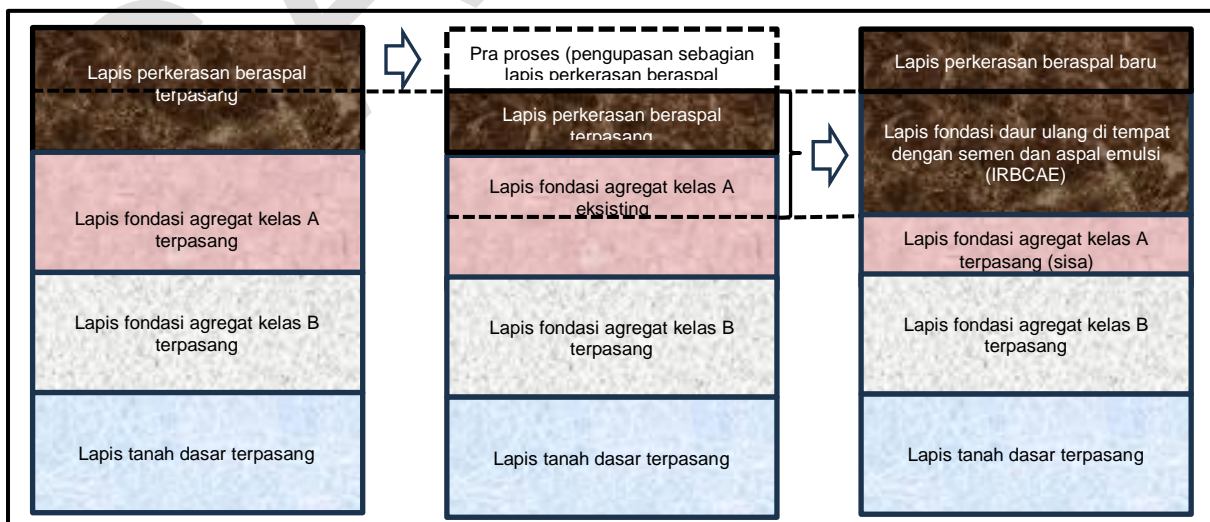
per hari kurang dari 1000. Metode ini, harus dilaksanakan kegiatan menghancurkan dan mencampurkan agregat lapis perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang dengan semen serta aspal emulsi pada saat yang bersamaan.



Gambar 1 – Struktur perkerasan IRBCAE tanpa proses pengupasan lapis perkerasan beraspal terpasang

4.1.2 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (*Milling*) Sebagian Lapis Perkerasan Beraspal

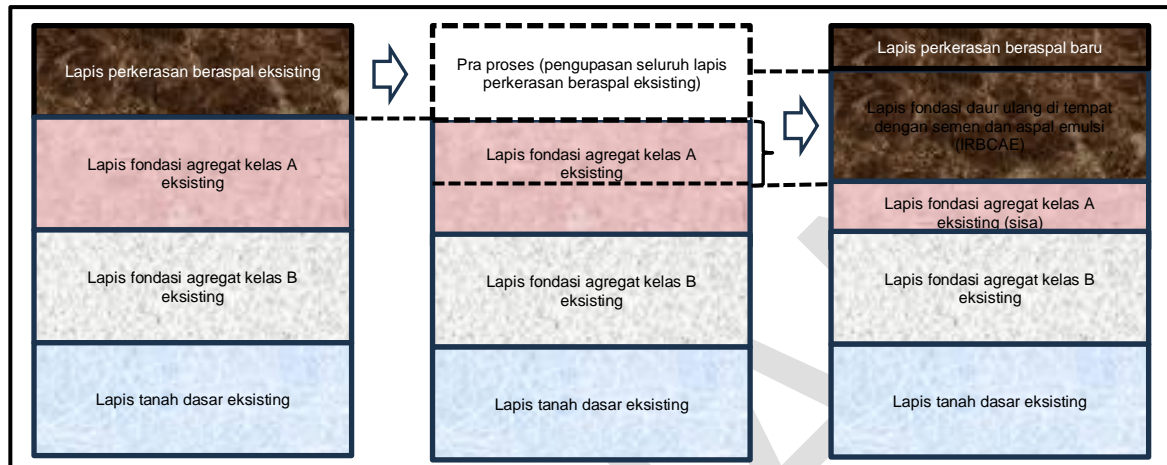
Metode ini digunakan apabila lapis perkerasan beraspal terpasang relatif tebal (lebih dari 10 cm), peninggian elevasi permukaan jalan sulit (tidak memungkinkan) dilakukan dan jumlah kendaraan berat per hari kurang dari 3000 (tiga ribu) kendaraan. Untuk metode ini, sebagian lapis perkerasan beraspal dikupas terlebih dahulu dan dikeluarkan dari lokasi pekerjaan. Selanjutnya lapis perkerasan terpasang dihancurkan dan dicampur dengan agregat lapis perkerasan beraspal terpasang tersisa dan agregat lapis fondasi dengan semen, serta aspal emulsi pada saat yang bersamaan.



Gambar 2 – Struktur perkerasan IRBCAE dengan proses pengupasan sebagian lapis perkerasan beraspal terpasang

4.1.3 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (*Milling*) Lapis Permukaan Aspal

Apabila peninggian elevasi permukaan jalan sulit dilakukan dan lapis perkerasan beraspal terpasang tidak memungkinkan atau tidak memadai untuk didaur ulang, maka seluruh ketebalan lapis perkerasan beraspal terpasang tersebut dikupas dan dikeluarkan dari area pekerjaan. Lapis perkerasan terpasang yang didaur ulang hanya lapis fondasi agregat terpasang. Untuk metode ini, tidak ada persyaratan kategori lalu lintas.



Gambar 3 – Struktur perkerasan IRBCAE dengan proses pengupasan lapis perkerasan beraspal terpasang

4.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk campuran IRBCAE terdiri dari bahan atau agregat yang didaur ulang (agregat lapis fondasi dengan atau tanpa agregat lapis perkerasan beraspal terpasang), agregat baru apabila digunakan, semen, aspal emulsi, dan air dengan ketentuan-ketentuan berikut ini.

4.2.1 Agregat Daur Ulang

Agregat daur ulang yang digunakan adalah agregat lapis fondasi terpasang dengan atau tanpa agregat lapis perkerasan beraspal terpasang yang dicampur langsung di tempat. Agregat baru ditambahkan apabila diperlukan. Agregat daur ulang harus kering udara, bebas dari bahan yang tidak dikehendaki dan memiliki ukuran butir maksimum 50 mm (100% lolos ayakan 50 mm). Gradasi gabungan atau campuran agregat harus seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 – Gradasi gabungan atau campuran agregat yang didaur ulang

Ukuran Ayakan		Persen Berat Lolos Ayakan
ASTM	mm	
2 in	50,0	100
1 ½ in	37,5	95-100
¾ in	19,0	50-100
No. 8	2,36	20-60
No. 200	0,075	0-15

4.2.2 Aditif (Bahan Stabilisasi)

Aditif atau bahan stabilisasi yang digunakan mencakup semen dan aspal emulsi dengan ketentuan, sebagai berikut.

a) Semen

Semen yang digunakan dapat berupa semen *Portland* Tipe I yang memenuhi ketentuan SNI 2049:2021 atau *Portland Composite Cement* (PCC) yang memenuhi ketentuan SNI 7064:2022 atau *Portland Pozzolana Cement* (PPC) yang memenuhi ketentuan SNI 0302:2014 atau semen jenis lainnya yang tersedia. Jumlah persentase pemakaian semen ditentukan berdasarkan hasil perancangan campuran.

b) Aspal emulsi

Aspal emulsi berupa aspal emulsi kationik (CSS-1 atau CSS-1h) dengan ketentuan sesuai Tabel 2. Jumlah persentase pemakaian aspal emulsi ditentukan berdasarkan hasil perancangan campuran di laboratorium, yaitu berdasarkan gradasi gabungan agregat yang didaur ulang.

Tabel 2 – Spesifikasi aspal emulsi

No.	Pemeriksaan	Satuan	CSS-1		CSS-1h		Metode
			Min	Maks	Min	Maks	
I. Tes dari Emulsi							
1	Viskositas, saybolt furol (25°C)	Detik	20	100	20	100	SNI 03-6832-2011
2	Storage stability 24 jam	%	-	1	-	1	SNI 03-6828-2012
3	Sieve test	%	-	0,1	-	0,1	SNI 3643-2012
4	Residu destilasi	%	57	-	57	-	SNI 03-3642-1994
5	Cement mixing test	%	-	< 2,0	-	< 2,0	SNI 03-6830-2002
II. Tes residu dari destilasi							
1	Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	100	250	40	90	SNI 2456 - 2011
2	Daktilitas pada suhu 25°C, cm/menit	cm	40	-	40	-	SNI 2432 - 2011
3	Kelarutan dalam Trichloroethylene	%	97,5	-	97,5	-	SNI 2438:2015

4.2.3 Air

Air yang digunakan untuk mencampur, merawat atau penggunaan lainnya harus bebas dari minyak, sulfat, dan klorida atau bahan lainnya yang merugikan terhadap hasil akhir. Ketentuan air yang digunakan mengacu ke SNI 7974:2018.

4.3 Sifat dan Kekuatan Campuran IRBCAE

Ketentuan sifat dan kekuatan campuran IRBCAE yang harus dicapai ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 – Ketentuan sifat dan kekuatan campuran IRBCAE

Pengujian	Batas-batas Sifat (pada umur benda uji 7 hari)	Metode Pengujian
Kuat tekan bebas (<i>Unconfined Compressive Strength, UCS</i>), kg/cm ²	15 – 29	SNI 1974:2023 atau SNI 6887:2012
Kekuatan residual (<i>residual strength, UCS residual</i>), %	Min. 65	
Regangan primer (<i>primary displacement, I₁</i>), %	Min. 5	<i>Japan Road Association</i> , 2019

4.4 Peralatan

4.4.1 Peralatan Pengujian Laboratorium dan Lapangan

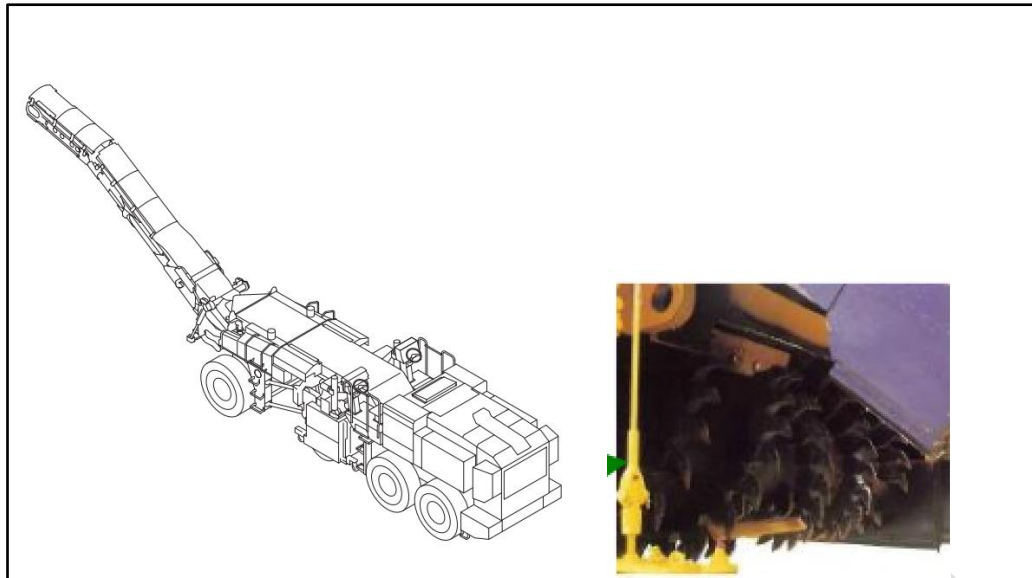
Peralatan pengujian laboratorium dan lapangan yang diperlukan harus memenuhi persyaratan standar pengujian dan telah dikalibrasi sesuai ketentuan yang berlaku. Peralatan pengujian laboratorium dan lapangan yang digunakan dalam pedoman ini antara lain sebagai berikut:

- Peralatan pengujian analisis ayakan (sesuai dengan SNI ASTM C136:2012);
- Peralatan pengujian campuran beraspal dengan alat *Marshall* (sesuai dengan SNI 06-2689-1991);
- Peralatan pengujian kuat tekan bebas (sesuai dengan 03-6887-2012);
- Peralatan pengujian kepadatan lapangan atau peralatan *sand cone* (sesuai SNI 2828:2011);
- Timbangan dengan kapasitas 11,3 kg dengan ketelitian 0,005 kg serta timbangan dengan kapasitas 1000 g dan ketelitian 0,1 g;
- Oven yang dilengkapi pengatur suhu dan mempertahankan suhu pada (110 ± 5) derajat celcius;
- Alat pengeluar benda uji dari dalam cetakannya (*extruder*); dan
- Peralatan lainnya sesuai yang diperlukan.

4.4.2 Peralatan Lapangan

4.4.2.1 Mesin Penggali-Dingin (*Cold Milling Machine*)

Mesin penggali-dingin seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4, digunakan untuk pengupasan sebagian atau seluruh ketebalan lapis perkerasan beraspal terpasang.



Gambar 4 – Mesin penggali dingin

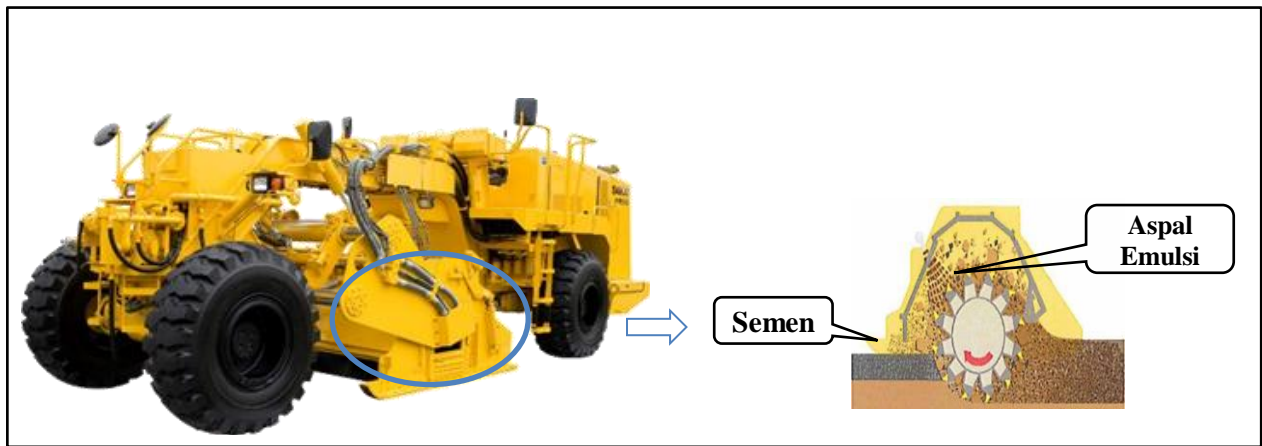
4.4.2.2 Alat Penebar Semen

- a. Alat penebar mekanis
Alat penebar mekanis (*cement spreader*) harus yang dilengkapi dengan timbangan untuk mengetahui jumlah semen terhampar. Alat ini dirancang untuk menjamin semen dihampar secara merata di seluruh area lapis perkerasan yang didaur ulang atau distabilisasi. Alat ini juga harus mampu menghampar semen dengan lebar bervariasi 0,3 – 2,4 meter.
- b. Alat penebar manual
Alat penebar manual berupa penggaruk atau perata atau alat lainnya yang sesuai, untuk menebarkan semen secara merata di atas lapis perkerasan yang didaur ulang. Penggunaan alat penebar manual ini hanya untuk pekerjaan yang tidak dapat dilakukan dengan cara mekanis atau pekerjaan volume kecil.

4.4.2.3 Alat Pencampur (*Stabilizer/Reclaimer*)

Alat pencampur sekaligus berfungsi sebagai alat penghancur atau penggembur lapis perkerasan yang didaur ulang. Alat pencampur ini harus dilengkapi alat penyemprot mekanis aspal emulsi dan air, dan memiliki kelengkapan sedemikian rupa, sehingga mampu melakukan proses pencampuran secara homogen sampai kedalaman atau ketebalan yang sesuai dengan rencana. Spesifikasi teknis alat ini, yaitu:

- (1) Tipe roda dengan mobilitas tinggi yang dapat beroperasi secara fleksibel di semua jenis atau kondisi jalan;
- (2) Dilengkapi dengan mekanisme untuk menambahkan aspal emulsi, air, dan mengontrol jumlah aspal emulsi, serta air yang ditambahkan;
- (3) Memiliki sistem rotor yang mampu menghancurkan atau memecahkan gumpalan campuran beraspal sampai mencapai ukuran maksimum gumpalan 50 mm (100% lolos ayakan 50 mm) dan mampu menyesuaikan kedalaman penghancuran dengan benar;
- (4) Kemampuan untuk menggeser (bergerak secara horizontal) sistem rotor untuk beradaptasi dengan lebar trotoar dan bahu jalan; dan
- (5) Sistem rotor harus diposisikan sedemikian rupa, sehingga operator dapat memastikan posisi dan kondisi pencampurannya.



Gambar 5 – Alat pencampur (*stabilizer/reclaimer*)

4.4.2.4 Truk Tangki Aspal Emulsi

Kendaraan yang dirancang khusus untuk mengangkut aspal emulsi. Truk tangki aspal emulsi harus dilengkapi dengan pipa atau selang penyambung ke alat pencampur.

4.4.2.5 Truk Tangki Air

Truk tangki air harus dilengkapi dengan pipa penyemprot atau pipa penyambung ke alat pencampur untuk menebarkan air selama pencampuran basah (*wet mixing*).

4.4.2.6 Alat Pembentuk Permukaan (*Motor Grader*)

Alat pembentuk atau perata (*motor grader*) digunakan untuk pembentukan atau penyesuaian elevasi akhir lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi.

4.4.2.7 Alat Pemadat Roda Karet Bertekanan (*Pneumatic Tyre Roller*)

Alat pemadat roda karet bertekanan (*pneumatic tyre roller*) dengan kapasitas 10 ton sampai dengan 15 ton, digunakan untuk memadatkan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi, yang memungkinkan pengaturan tekanan udara sesuai dengan kebutuhan.

4.4.2.8 Alat Pemadat Roda Besi Halus (*Smooth Drum Roller*)

Alat pemadat roda besi halus (*smooth drum roller*) dengan kapasitas 10 ton sampai dengan 13 ton, digunakan untuk memadatkan lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi dan pemadatan setelah pembentukan akhir.

4.4.2.9 Peralatan Lainnya

Peralatan lainnya yang dimaksud dalam subbab ini, yaitu *excavator*, *hand breaker*, sekop atau lancip, dan karung sampel.

5 Rancangan Campuran

Perancangan campuran untuk IRBCAE dilakukan di laboratorium. Penentuan kadar aspal emulsi dan semen yang diperlukan untuk menghasilkan sifat dan kekuatan harus sesuai

dengan yang ditetapkan pada Tabel 3 Pasal 4.3. Tahapan ditunjukkan pada Gambar A (Lampiran A).

5.1 Survei Kondisi Lapangan dan Pengambilan Contoh Agregat

Tahapan ini mencakup survei kerusakan permukaan perkerasan terpasang dan penentuan titik-titik penggalian lubang *test pit* untuk menentukan ketebalan lapis perkerasan (lapis perkerasan beraspal dan lapis fondasi agregat). Survei kerusakan dilakukan untuk melakukan desain ketebalan masing-masing lapis perkerasan yang akan didaur ulang, dan pengambilan contoh agregat untuk pengujian sifat agregat maupun campuran agregat dengan semen dan aspal emulsi.

- a) Penentuan titik-titik penggalian lubang *test pit* dan pengambilan contoh agregat (sampel) dilakukan secara visual berdasarkan kondisi permukaan perkerasan, minimum 3 titik di sepanjang ruas jalan dengan kondisi yang sama atau hampir sama, dengan jarak maksimum 100 meter secara zigzag.
- b) Pada saat penggalian lubang *test pit*, agregat hasil galian tersebut harus dikumpulkan secara terpisah antara agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan lapis fondasi terpasang. Dari setiap titik penggalian lubang *test pit*, diambil contoh agregat minimum sebanyak 30 kg untuk lapis perkerasan beraspal terpasang dan 70 kg untuk lapis fondasi agregat terpasang.
- c) Pada lubang galian, ditentukan atau diukur ketebalan lapis perkerasan beraspal terpasang (H_1) dan lapis fondasi agregat terpasang (H_2) dengan alat ukur yang sesuai.
- d) Selanjutnya lubang bekas galian ditutupi kembali dengan agregat hasil galian yang tersisa atau bahan lain yang serupa dan dipadatkan secukupnya. Elevasi akhir setelah dipadatkan harus rata dan sama dengan elevasi permukaan perkerasan terpasang.
- e) Berdasarkan ketebalan lapis perkerasan beraspal dan lapis fondasi agregat, dan dengan mempertimbangkan persyaratan ketebalan total dan ketebalan maksimum lapis perkerasan beraspal terpasang yang didaur ulang, dilakukan desain ketebalan masing-masing lapis perkerasan terpasang yang akan didaur ulang.

5.2 Penyiapan Contoh Agregat

Contoh agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang diperoleh dari lapangan dikeringkan di ruangan terbuka atau menggunakan oven pengering. Selanjutnya agregat yang masih dalam bentuk gumpalan dihancurkan atau dipecahkan sedemikian sehingga tidak mengakibatkan pecahnya butiran asli agregat dan masing-masing dikumpulkan di dalam suatu wadah atau karung contoh yang terpisah.

5.3 Pengujian Gradasi Agregat

Untuk pengujian gradasi, hanya dilakukan untuk contoh agregat lapis fondasi. Untuk agregat lapis perkerasan beraspal, gradasinya ditetapkan berdasarkan pengalaman hasil pengujian gradasi agregat hasil penggarukan di lapangan dengan alat *milling* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Dari contoh agregat lapis fondasi yang telah disiapkan sesuai Subbab 5.2, ambil contoh agregat yang mewakili (dengan cara *quartering* atau *sample splitter*) sebanyak 5 – 7 kg dan

lakukan pengujian gradasi sesuai SNI ASTM C 136-2012, kecuali pengujian dilakukan dengan cara kering (tanpa pencucian).

Tabel 4 – Gradasi agregat lapis perkerasan beraspal terpasang

Ukuran Ayakan		Persen Berat Lolos Ayakan
ASTM	(mm)	
1 ½ in	37,5	100
1 in	25,0	75
¾ in	19,0	65
½ in	12,5	50
No.4	4,75	25
No.8	2,36	15
No.200	0,075	0

5.4 Penentuan Gradasi Gabungan Agregat dan Kontrol Kesesuaiannya dengan Persyaratan

Untuk menentukan gradasi gabungan, maka agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi yang didaur ulang harus ditentukan jumlah atau persentase pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi yang akan didaur ulang. Penentuannya didasarkan pada desain ketebalan masing-masing lapis perkerasan yang didaur ulang, menggunakan Persamaan (1).

Selanjutnya, gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi ditentukan secara analitis berdasarkan gradasi agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi, dan jumlah atau persentase pemakaiannya dalam campuran tersebut, menggunakan Persamaan (2).

$$P_1 = \frac{D_1 \times a}{(D_1 \times a + D_2 \times b)} \times 100 \text{ dan } P_2 = 100 - P_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

P_1 = jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang (%)

P_2 = jumlah pemakaian agregat lapis fondasi yang didaur ulang (%)

D_1 = ketebalan lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang (cm)

D_2 = ketebalan lapis fondasi yang didaur ulang (cm)

a = berat isi (kepadatan) agregat lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang (=2,4 g/cm³)

b = berat isi (kepadatan) agregat lapis fondasi yang didaur ulang (= 2,1 g/cm³)

$$G_C = (P_1 \times G_1) + (P_2 \times G_2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

G_C = gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi yang didaur ulang

P_1 = jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang (%)

P_2 = jumlah pemakaian agregat lapis fondasi yang didaur ulang (%)



- G_1 = gradasi agregat lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang, ditentukan berdasarkan pengalaman, lihat Tabel 4
- G_2 = gradasi agregat lapis fondasi yang didaur ulang sesuai hasil pengujian yang diuraikan pada 5.3

Hasil analisis gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi yang didaur ulang harus memenuhi persyaratan gradasi gabungan agregat seperti yang ditentukan pada Tabel 1.

5.5 Penentuan Kadar Aspal Emulsi dan Kadar Semen

Kadar aspal emulsi yang dibutuhkan ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3). Kadar semen yang digunakan, umumnya ditetapkan berdasarkan pengalaman, minimum 3 variasi kadar semen dalam rentang 2% – 5% terhadap berat total campuran agregat lapis perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang, semen, dan aspal emulsi.

$$P_{AE} = (0,04 \times p_1) + (0,07 \times p_2) + (0,12 \times p_3) - (0,013 \times P_1) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

P_{AE} = jumlah pemakaian aspal emulsi (% terhadap jumlah total berat campuran agregat lapis perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang, semen dan aspal emulsi)

p_1 = jumlah agregat tertahan #2,36 mm dari campuran agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan agregat lapis fondasi agregat sebelum dimodifikasi (%)

p_2 = jumlah agregat lolos #2,36 mm dan tertahan #0,075 mm dari campuran agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan agregat lapis fondasi terpasang sebelum dimodifikasi (%)

p_3 = jumlah agregat lolos #0,075 mm dari campuran agregat lapis perkerasan beraspal v dan agregat lapis fondasi terpasang sebelum dimodifikasi (%)

P_1 = jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal dalam campuran (%)

Komposisi total campuran untuk lapis fondasi daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi:

$$\text{Agregat} + \text{Semen} + \text{Aspal emulsi} = 100 (\%) \dots\dots\dots (4)$$

5.6 Penentuan Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum

Penentuan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*, OMC) dan kepadatan atau berat isi kering maksimum (*Maximum Dry Density*, MDD) dimaksudkan sebagai acuan untuk pembuatan benda uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*, UCS) dan untuk pengendalian pemadatan di lapangan.

Untuk penentuan OMC dan MDD ini, disiapkan minimum 5 contoh campuran dengan kadar air bervariasi 1% – 2% terhadap berat total campuran, dipadatkan sesuai prosedur pembuatan benda uji stabilitas *Marshall* dengan jumlah tumbukan 50 (lima puluh) kali pada kedua ujung benda uji sesuai dengan SNI 2489:2018.

Langkah-langkah penentuan OMC dan MDD untuk setiap variasi campuran agregat daur ulang dengan semen dan aspal emulsi, sebagai berikut:

- a) Dari contoh agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang telah disiapkan sesuai Subbab 5.2. Masing-masing disiapkan contoh agregat lolos ayakan 25 mm secukupnya yang mewakili (± 20 kg), dan dipisahkan menjadi beberapa fraksi ukuran butir yang menggunakan ayakan sesuai dengan yang diperlukan, lihat Tabel 1.
- b) Tentukan dan timbang berat masing-masing fraksi, baik agregat lapis perkerasan beraspal maupun agregat lapis fondasi, yaitu berdasarkan gradasi masing-masing agregat setelah modifikasi (modifikasi gradasi agregat dilakukan dengan mengasumsikan semua agregat yang digunakan untuk pengujian adalah lolos ayakan 25 mm). Jumlah persentase pemakaiannya masing-masing di dalam campuran dihitung menggunakan Persamaan (1). Untuk setiap contoh campuran yang harus disiapkan (minimum 5 (lima) contoh campuran) diperlukan ± 1150 g.
- c) Tentukan jumlah aspal emulsi yang digunakan sesuai Persamaan (3) dan timbang beratnya. Disiapkan 5 (lima) contoh aspal emulsi sesuai jumlah contoh campuran agregat yang disiapkan dengan berat yang sama.
- d) Tentukan jumlah semen yang akan digunakan sesuai persentase pemakaiannya seperti ditentukan sesuai subbab 5.5 dan timbang beratnya. Untuk setiap variasi persentase kadar semen, disiapkan 5 (lima) contoh semen sesuai jumlah contoh campuran yang disiapkan dengan berat yang sama.
- e) Tentukan jumlah air yang ditambahkan untuk menghasilkan kadar air campuran yang bervariasi 1% – 2%, minimum 5 (lima) variasi kadar air sesuai jumlah contoh campuran yang disiapkan dan timbang beratnya.

Berat air yang ditambahkan ditentukan sesuai Persamaan (5), sebagai berikut:

$$W_w = \left\{ \left(A + C + E \times \frac{R}{100} \right) \times \frac{w}{100} \right\} - \left\{ \left(E \times \left(1 - \frac{R}{100} \right) \right) \right\} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

W_w = berat air yang ditambahkan (g)

A = berat total agregat dalam kondisi kering yang disiapkan (g)

C = berat semen (g)

E = berat aspal emulsi (g)

w = target kadar air (%)

R = kadar residu aspal emulsi (%)

- f) Agregat lapis perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang, semen, aspal emulsi dan air, masing-masing sesuai kebutuhan. Semua bahan tersebut dicampur sampai merata secara manual dengan bantuan sendok pengaduk dan selanjutnya dipadatkan di dalam cetakan benda uji stabilitas *Marshall* yang telah diketahui beratnya dengan alat penumbuk benda uji stabilitas *Marshall* berat 4,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian sekitar 45 cm. Penumbukan dilakukan pada kedua ujung benda uji (atas-bawah) masing-masing 50 (lima puluh) tumbukan.

Setelah dipadatkan, benda uji dikeluarkan dari dalam cetakannya kemudian ditimbang dan diukur tinggi benda uji untuk menentukan volume (diameter benda uji sama dengan diameter bagian dalam cetakan benda uji). Dilakukan pengujian kadar air benda uji sesuai



SNI 1971:2011 dan tentukan kepadatan keringnya dengan menggunakan Persamaan (6), sebagai berikut.

$$DD = \frac{MD}{(1 + w)} = \frac{\frac{m_m}{V}}{(1 + w)} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

DD = kepadatan kering benda uji, g/cm³

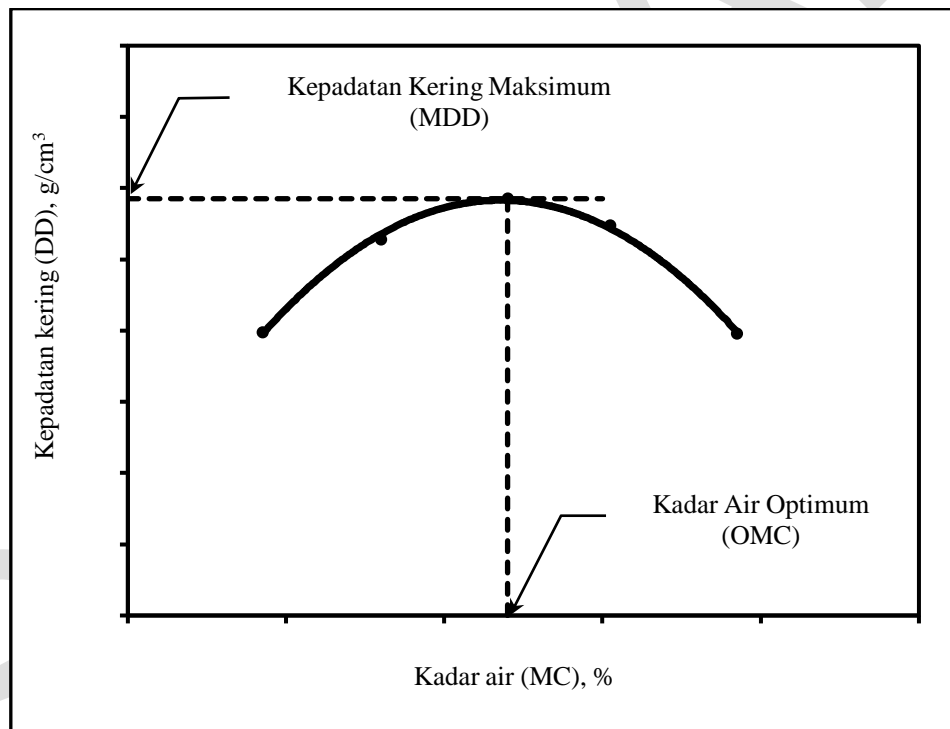
MD = berat isi (kepadatan) basah benda uji, g/cm³

m_m = berat basah benda uji, g

V = volume benda uji, cm³

w = kadar air benda uji, dinyatakan dalam bilangan desimal

- g) Dari 5 (lima) contoh campuran yang disiapkan, setelah dipadatkan akan menghasilkan kadar air dan kepadatan kering yang berbeda. Data tersebut diplotkan dalam bentuk kurva halus hubungan antara kadar air dan kepadatan kering. Dari kurva tersebut, tentukan MDD, yaitu puncak kurva, dan OMC, yaitu kadar air pada MDD. Contoh tipikal kurva penentuan OMC dan MDD ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 – Tipikal kurva penentuan OMC dan MDD

5.7 Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*, UCS) dilakukan untuk setiap variasi persentase kadar semen, untuk menentukan nilai UCS maksimum dari masing-masing variasi persentase kadar semen tersebut. Hal lainnya adalah termasuk menentukan regangan primer (*primary displacement*) dan nilai UCS residual yang dinyatakan dengan persen terhadap UCS maksimum. Untuk pengujian kuat tekan bebas dari setiap variasi persentase kadar semen, diperlukan minimum 3 (tiga) benda uji dan hasilnya dirata-ratakan.

Langkah-langkah pengujian kuat tekan bebas untuk setiap variasi campuran agregat daur ulang dengan semen dan aspal emulsi, sebagai berikut.

- a) Dari contoh agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan agregat lapis fondasi terpasang yang telah disiapkan sesuai Subbab 5.2, masing-masing disiapkan contoh agregat lolos ayakan 25 mm secukupnya yang mewakili, dan dipisahkan menjadi beberapa fraksi ukuran butir menggunakan ayakan sesuai yang diperlukan, seperti diuraikan pada langkah 5.6.a).
- b) Tentukan dan timbang berat masing-masing fraksi, baik agregat lapis perkerasan beraspal terpasang maupun agregat lapis fondasi terpasang, yaitu berdasarkan gradasi masing-masing agregat setelah modifikasi (modifikasi gradasi agregat dilakukan dengan mengasumsikan semua agregat yang digunakan untuk pengujian adalah lolos ayakan 25 mm), dan jumlah persentase pemakaiannya masing-masing di dalam campuran yang dihitung sesuai Persamaan (1) seperti diuraikan pada Langkah 5.6.b). Untuk setiap contoh campuran yang harus disiapkan (minimum 3 (tiga) contoh campuran untuk setiap variasi kadar semen) diperlukan ± 1150 g.
- c) Tentukan jumlah aspal emulsi yang akan digunakan sesuai jumlah pemakaiannya seperti yang diuraikan pada langkah 5.6.c) dan timbang beratnya. Untuk setiap variasi kadar semen, disiapkan minimum 3 (tiga) contoh aspal emulsi sesuai jumlah contoh campuran agregat yang disiapkan dengan berat yang sama.
- d) Tentukan jumlah semen yang akan digunakan sesuai persentase pemakaiannya seperti yang diuraikan pada Langkah 5.6.d) dan timbang beratnya. Untuk setiap variasi persentase semen, disiapkan minimum 3 (tiga) contoh semen sesuai jumlah contoh campuran agregat yang disiapkan dengan berat yang sama.
- e) Tentukan jumlah air yang ditambahkan untuk menghasilkan kadar air optimum dan timbang beratnya sesuai Ketentuan Subbab 5.6. Jumlah penambahan air dihitung sesuai Persamaan (5).
- f) Agregat lapis perkerasan beraspal, agregat lapis fondasi, semen, aspal emulsi dan air, masing-masing sesuai kebutuhan. Material tersebut dicampur sampai merata secara manual dengan bantuan sendok pengaduk. Selanjutnya dipadatkan di dalam cetakan benda uji stabilitas *Marshall* yang telah diketahui beratnya dengan alat penumbuk benda uji stabilitas *Marshall* berat 4,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian sekitar 45 cm. Penumbukan dilakukan pada kedua ujung benda uji (atas-bawah) masing-masing 50 (lima puluh) tumbukan sesuai ketentuan Subbab 5.6.f.
- g) Setelah dipadatkan, timbang berat cetakan berisi benda uji (untuk menentukan berat benda uji setelah dipadatkan) dan ukur tinggi benda uji minimum pada tiga sisi, untuk menentukan volume benda uji dan selanjutnya hitung kepadatan kering benda uji menggunakan Persamaan (6) sesuai yang diuraikan pada langkah Subbab 5.6.f.
- h) Biarkan benda uji selama 1 hari (24 jam) di dalam cetakannya pada temperatur ruang, kemudian keluarkan benda uji dari dalam cetakan dan dimasukkan ke dalam plastik. Selanjutnya benda uji dibiarkan atau dirawat (*curing time*) selama 5 hari (5 x 24 jam) pada temperatur ruang. Setelah perawatan 5 hari, timbang berat benda uji dan selanjutnya direndam di dalam air selama 1 hari (24 jam).
- i) Apabila diperlukan penentuan penyerapan air pada benda uji, maka benda uji direndam selama 1 hari, selanjutnya benda uji dikeringkan permukaannya dengan kain lembap yang bersih dan ditimbang. Penyerapan air benda uji dihitung sesuai Persamaan (7).

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{W_4 - W_3}{W_3} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

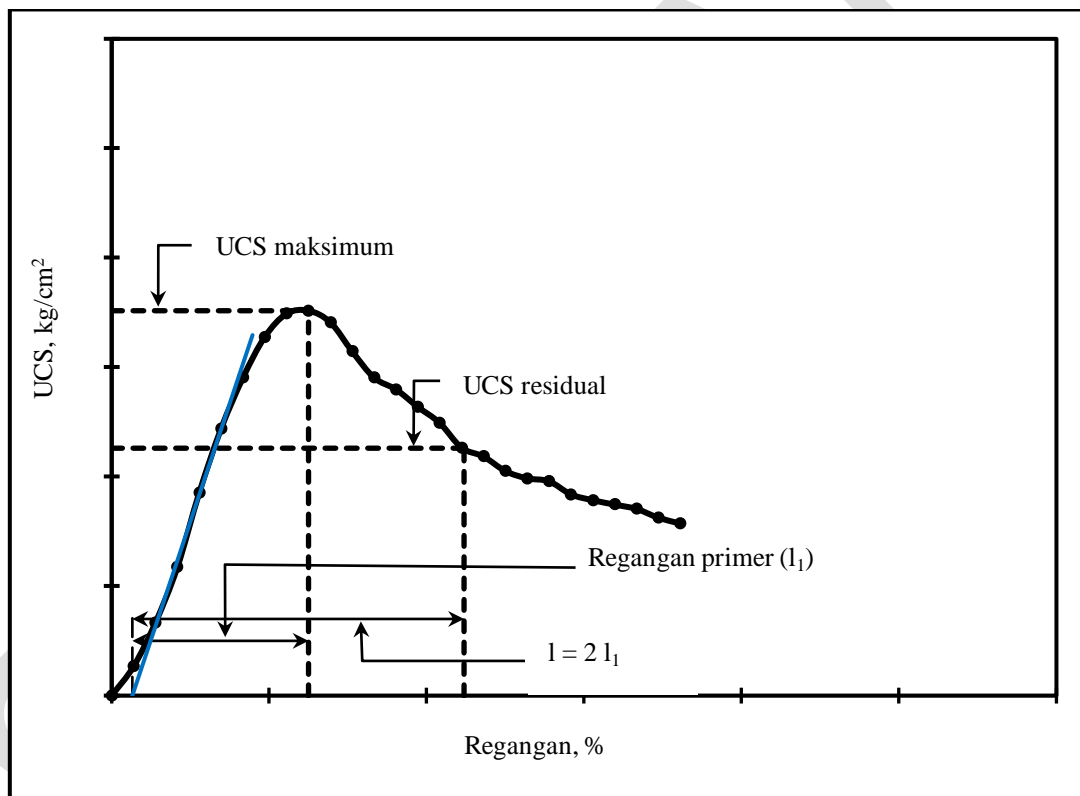


Keterangan:

W_3 = Berat benda uji sebelum direndam 1 hari (g)

W_4 = Berat benda uji setelah direndam dan dikeringkan permukaannya (g)

- j) Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan bebas, benda direndam selama 30 menit di dalam bak perendam (*water bath*) pada temperatur konstan 30 ± 1 °C.
- k) Keringkan kembali permukaan benda uji dengan kain kering yang bersih dan kemudian lakukan pengujian kuat tekan bebas sesuai 1974:2023 atau SNI 6887:2012. Pada pengujian kuat tekan bebas ini, lakukan pembebanan dengan kecepatan 1 mm/menit sampai mencapai regangan sekitar 20% atau kekuatan residual dapat ditentukan.
- l) Hitung nilai UCS pada setiap pembacaan regangan dan plotkan dalam bentuk kurva hubungan antara UCS dan regangan, dari kurva tersebut tentukan nilai UCS maksimumnya. Dari kurva tersebut tentukan nilai regangan primer (*primary displacement*) dan UCS residualnya. Contoh tipikal kurva hubungan UCS dan regangan, dan penentuan regangan primer dan UCS residual ditunjukkan pada Gambar 7.

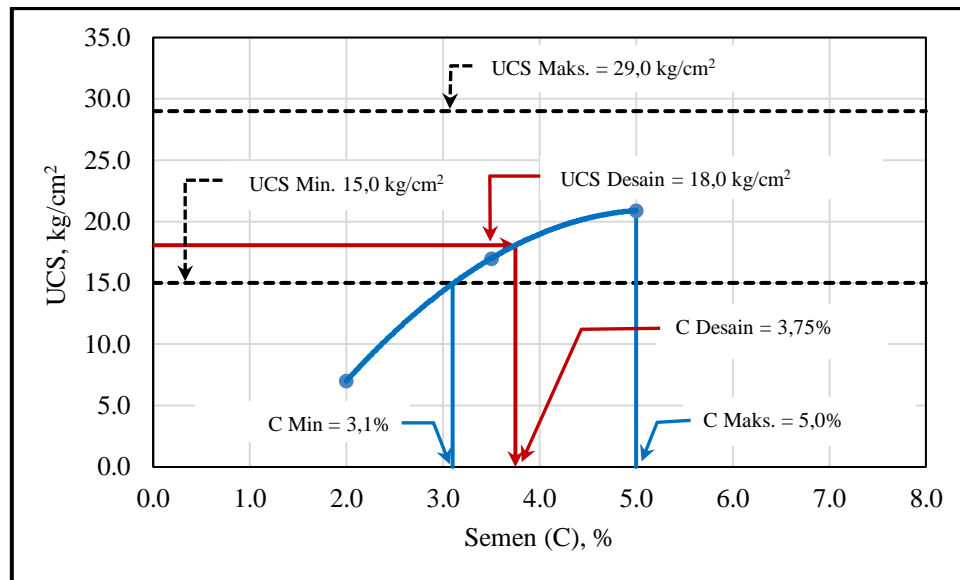


Gambar 7 – Tipikal kurva hubungan UCS dengan regangan

5.8 Penentuan Kadar Semen Desain

Nilai UCS maksimum, regangan primer dan persentase kekuatan residual diplotkan dalam bentuk kurva hubungannya dengan persentase kadar semen, dan dari kurva-kurva tersebut, ditentukan persentase kadar semen desain, yaitu kadar semen yang dapat menghasilkan UCS. Regangan primer dan persentase UCS residual sesuai yang ditentukan pada Tabel 3 dan sesuai dengan Ketentuan Subbab 4.3.

Apabila regangan primer dan persentase UCS residual tidak memenuhi ketentuan Tabel 3, maka penentuan kadar semen desain dilakukan dengan menentukan nilai rata-rata dari nilai UCS yang dihasilkan yang memenuhi persyaratan. Contoh tipikal kurva penentuan kadar semen desain ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 – Tipikal kurva penentuan kadar semen desain

5.9 Pelaporan

Hal-hal yang perlu dilaporkan antara lain:

- 1) Kadar aspal emulsi (P_{AE}), %;
- 2) Kadar semen desain (C), %;
- 3) Kepadatan kering maksimum (MDD), g/cm³;
- 4) Kadar air optimum (OMC), %;
- 5) Kuat tekan bebas (UCS), kg/cm²;
- 6) Regangan primer (*primary displacement*), %;
- 7) Kekuatan residual (*residual strength*), %;
- 8) Penyerapan air, %.

6 Percobaan Lapangan

Percobaan lapangan (*field trial*) merupakan bagian dari sistem pengendalian mutu. Percobaan lapangan dilakukan sebelum pelaksanaan pekerjaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi (IRBCAE) sesungguhnya di lapangan dimulai. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan metode atau prosedur pelaksanaan pekerjaan, terutama terkait jumlah lintasan alat pencampur dan pemadat yang digunakan untuk menghasilkan tingkat kegemburan, keseragam pencampuran, kedalaman pencampuran, dan kepadatan lapangan sesuai yang ditentukan.

Percobaan lapangan minimum dilakukan sepanjang 25 m dan lebar 2,4 m, untuk setiap variasi metode maupun jumlah lintasan alat pencampur dan pemadat yang diusulkan, di dalam lokasi kegiatan pekerjaan atau sesuai yang ditentukan.

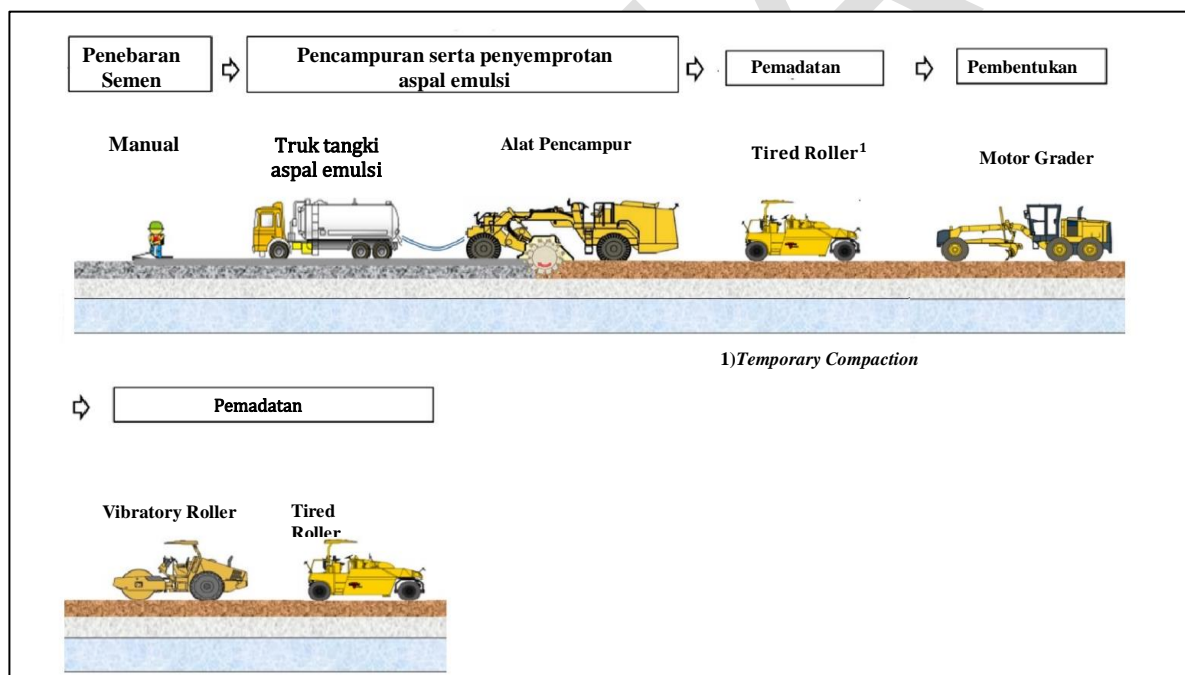
7 Pelaksanaan Pekerjaan di Lapangan

Metode atau prosedur pelaksanaan pekerjaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi (IRBCAE) secara umum terdiri dari dua metode berdasarkan cara penyiapan permukaan perkerasan yang didaur ulang, yaitu metode IRBCAE tanpa proses pengupasan (*unmilling*) dan metode IRBCAE dengan pengupasan (*milling*).

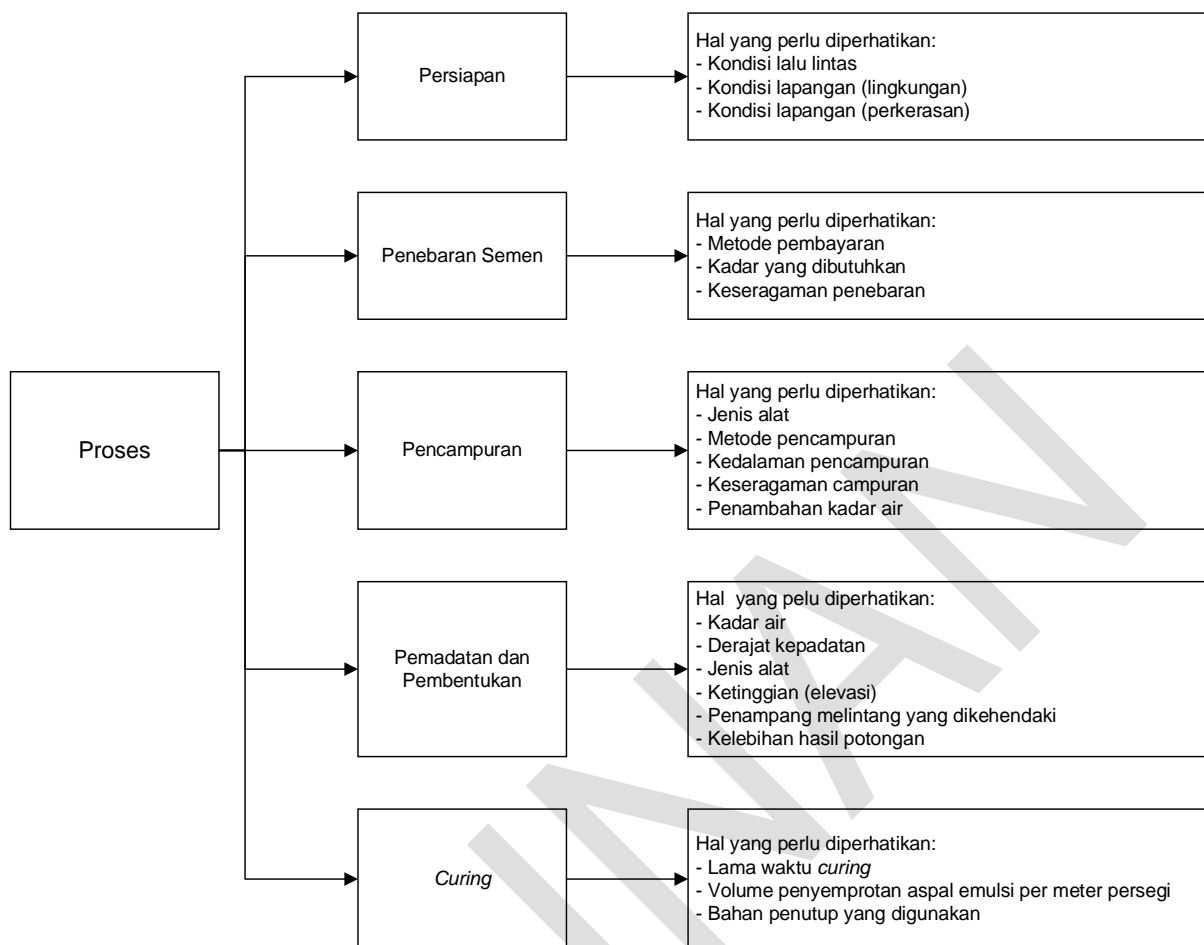
Baik metode IRBCAE tanpa proses pengupasan maupun metode IRBCAE dengan pengupasan, sebelum pelaksanaan pekerjaan, lalu lintas kendaraan diatur agar tidak melintasi area pekerjaan. Pengendalian lalu lintas dapat dilakukan dengan sistem buka tutup, pengalihan rute kendaraan, membuat jalan alternatif atau merujuk pada sistem pengendalian lalu lintas yang berlaku.

7.1 Metode IRBCAE tanpa Proses Pengupasan (*Unmilling*)

Prosedur pelaksanaan pekerjaan IRBCAE tanpa proses pengupasan (*unmilling*) ditunjukkan pada Gambar 9 dan hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9 – Prosedur pelaksanaan IRBCAE tanpa pengupasan



Gambar 10 – Bagan alir pelaksanaan IRBCAE tanpa pengupasan

7.1.1 Penyiapan Permukaan

Permukaan perkerasan yang akan didaur ulang dibersihkan atau dibebaskan dari kotoran, tanaman dan bahan-bahan lainnya yang tidak dikehendaki untuk menjamin tidak terjadi kontaminasi dengan bahan perkerasan yang didaur ulang.

Permukaan perkerasan yang akan didaur ulang diratakan dan dipadatkan secukupnya untuk memperbaiki beberapa bentuk permukaan yang tidak beraturan dan memungkinkan peralatan daur ulang melewati area atau lokasi tersebut tanpa pergeseran permukaan yang signifikan. Pada kasus dimana terdapat bahan yang tidak dikehendaki, misalkan terdapat lumpur, maka area berlumpur tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu atau dibuang dan diganti dengan bahan lain yang sesuai, kemudian dipadatkan.

Permukaan perkerasan yang didaur ulang dibentuk sampai mencapai garis ketinggian dan penampang melintang yang diperlukan untuk mencapai tebal padat lapis fondasi daur ulang yang sesuai rencana dan spesifikasi.

7.1.2 Penebaran Semen

Setelah penyiapan permukaan, semen harus ditebar secara merata di atasnya, baik secara mekanis (menggunakan mesin penebar) maupun secara manual, pada takaran yang dihitung,

termasuk faktor efisiensi peralatan yang digunakan sedemikian untuk memperoleh kadar semen seperti yang dirancang berdasarkan rancangan laboratorium dan percobaan lapangan.

a) Cara Mekanis

Penebaran semen dengan cara mekanis yang dimaksudkan adalah penebaran dengan menggunakan alat penebar semen (*cement spreader*). Dengan cara ini, semen ditebar penuh selebar perkerasan yang akan didaur ulang atau ditebar selebar drum pengaduk (*milling drum*) alat pencampur untuk meminimalisasi terhadap gangguan lalu lintas. Jumlah penebaran dikendalikan melalui timbangan atau alat pengontrol tingkat penebaran yang tersedia pada alat penebar. Sedangkan untuk mengetahui jumlah aktual penebaran, dilakukan pemeriksaan menggunakan baki/matras seluas 1 m² yang ditempatkan pada permukaan perkerasan terpasang di antara roda alat penebar. Jika jumlah aktual penebaran kurang dari rencana, lakukan penebaran tambahan. Jika jumlah penebaran telah sesuai rencana, lakukan penebaran pada sisi sebelahnya sampai mencapai lebar dan jumlah penebaran yang ditentukan. Catat jumlah aktual penebaran pada tiap-tiap sisi dan simpan pada dokumen mutu. Perhitungan aplikasi semen sesuai dengan Ketentuan subbab 5.5.

b) Manual

Penebaran secara manual dilakukan dengan menempatkan kantong-kantong semen di atas permukaan perkerasan yang akan didaur ulang dengan jarak tertentu agar memenuhi takaran yang direncanakan, baik arah memanjang maupun arah melintang. Buka kantong-kantong semen dengan pisau atau peralatan lain yang sesuai dan keluarkan semen dari dalam kantong sampai kantong tersebut kosong, kemudian ditebar secara merata menggunakan alat perata atau penggaruk manual.

7.1.3 Pencampuran

Setelah penebaran semen, langkah berikutnya adalah pencampuran semen dengan agregat perkerasan yang didaur ulang. Pada saat yang bersamaan, aspal emulsi ditambahkan langsung ke kotak pencampuran (*mixing chamber*) melalui *nozzle* yang dikendalikan dari kontrol panel. Homogenitas pencampuran agregat perkerasan yang didaur ulang, semen dan aspal emulsi, dan air merupakan salah satu hal yang penting untuk mencapai suksesnya pekerjaan IRBCAE ini.

Untuk mendapatkan keseragaman pencampuran yang lebih baik maka dilakukan beberapa kali pencampuran atau sesuai hasil percobaan lapangan. Perlu diperhatikan, bahwa proses pencampuran ini dapat menghasilkan jumlah butiran halus berlebihan yang akan merusak atau mengganggu proses daur ulang. Proses daur ulang ini direkomendasikan sampai 2 (dua) kali pencampuran. Pencampuran pertama tanpa penambahan air (*dry mix*), dan pencampuran kedua adalah pencampuran basah (*wet mix*), yaitu dengan menambah air ke dalam campuran untuk mencapai kadar air sedemikian sehingga kadar air pada saat pemadatan berada pada rentang kadar air sesuai Subbab 7.1.4.

Pada proses pencampuran basah, air ditambahkan langsung ke kotak pencampuran (*mixing chamber*) melalui *nozzle* yang dikendalikan dari kontrol panel. Penambahan air langsung dari tangki air melalui pipa penyemprot air (*distributor*) dapat dilakukan sebelum pencampuran basah dimulai. Penyiraman secara manual untuk menambah kadar air setelah pencampuran tidak diperkenankan.

Pelaksanaan pencampuran pada umumnya dilakukan dari lajur satu dan menyambung ke lajur berikutnya dengan tumpang-tindih (*overlap*) minimum 75 mm untuk sambungan memanjang dan minimum 1000 mm untuk sambungan melintang.

7.1.4 Pemadatan dan Pembentukan Akhir

Setelah proses pencampuran, pemadatan dimulai sesegera mungkin pada kadar air optimum atau paling kurang 2% di bawah kadar air optimum. Pemadatan dilakukan menggunakan alat pemadat yang sesuai. Alat pemadat roda karet (*pneumatic tyre roller*) digunakan sebagai pemadat awal. Setelah itu alat pemadat roda besi halus (*smooth drum roller*) digunakan untuk menyempurnakan pemadatan sampai mencapai seluruh kedalaman lapisan yang didaur ulang. Lakukan pemadatan dengan beberapa lintasan sehingga didapat nilai kepadatan lapangan sesuai ketentuan (minimum 100% kepadatan kering maksimum).

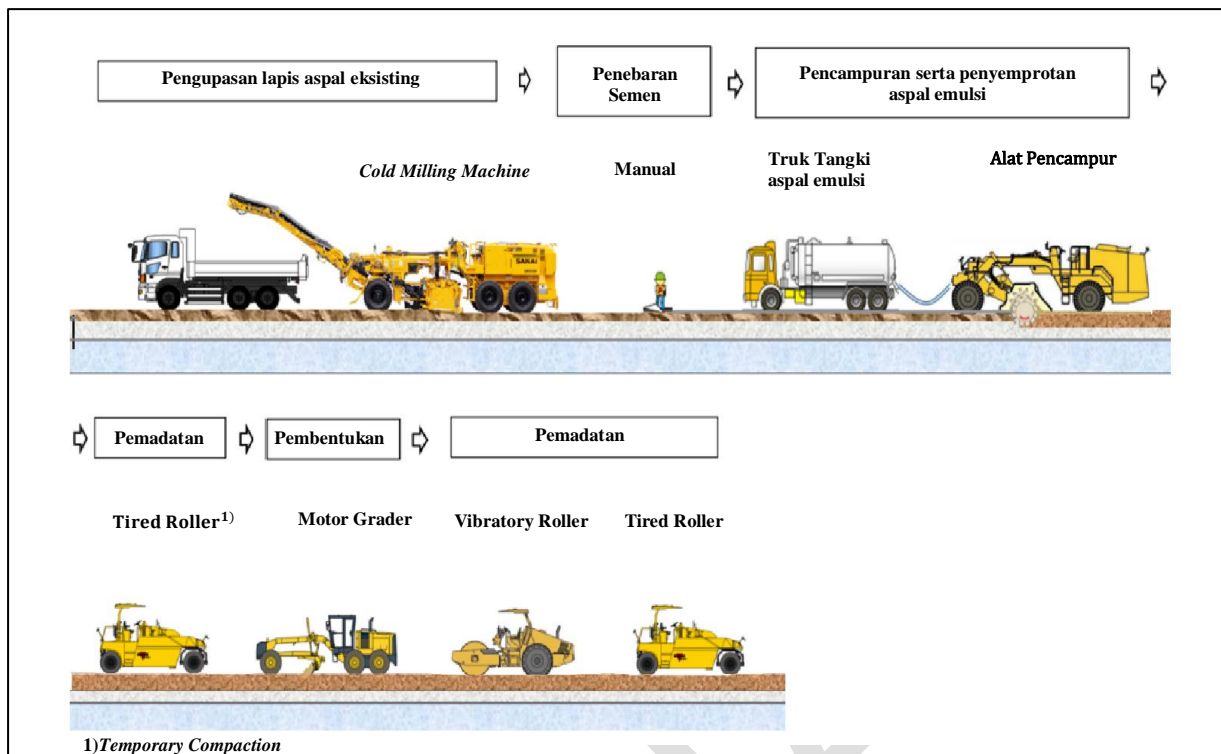
7.1.5 Perawatan

Perawatan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi yang telah selesai dipadatkan terutama dimaksudkan untuk mencegah kerusakan perkerasan dari air hujan atau menjaga agar tidak terlalu kering, sebagai berikut:

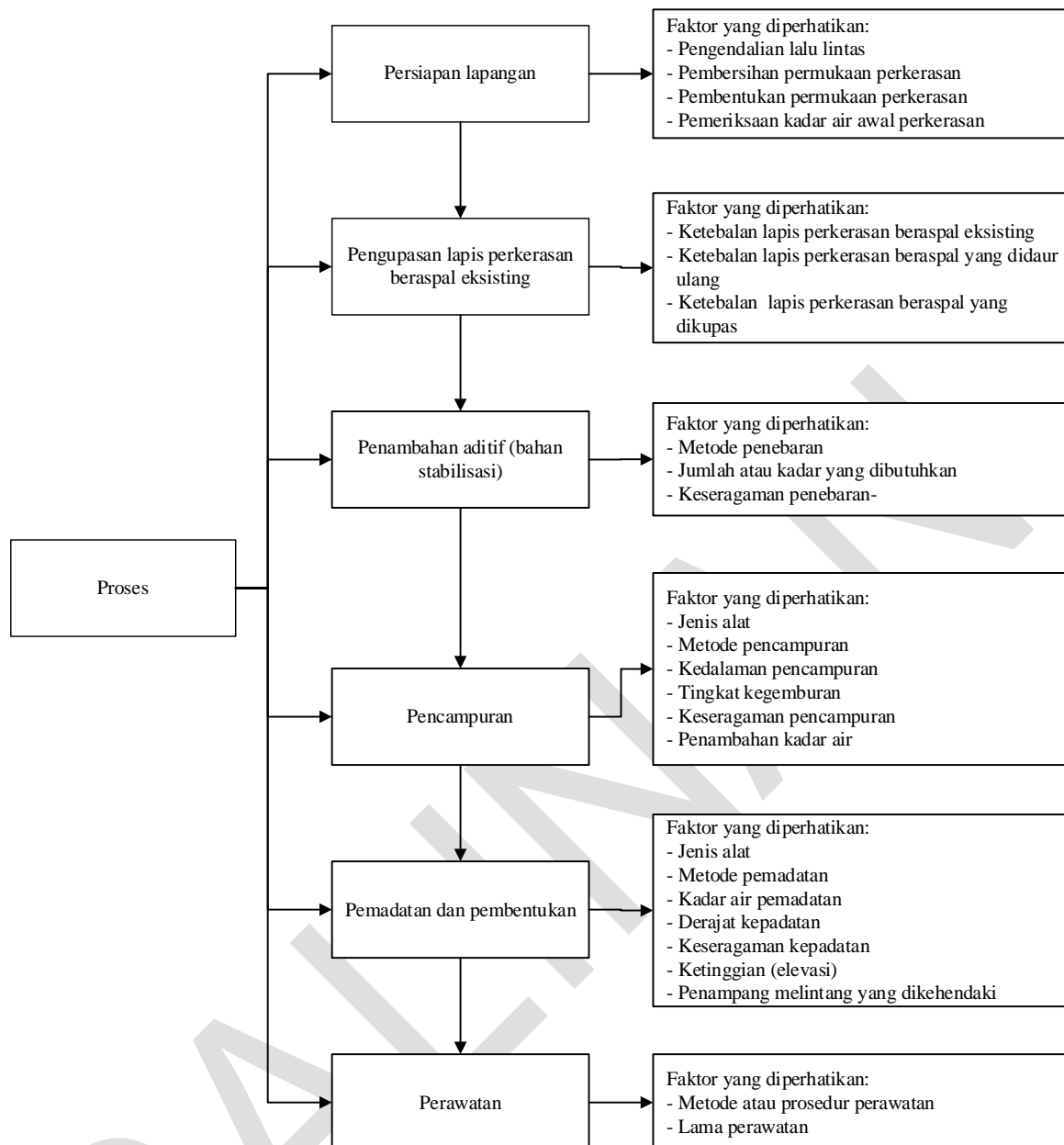
- a) Apabila lalu lintas harus segera dioperasikan sebelum pekerjaan lapis di atasnya (lapis perkerasan beraspal) selesai dilakukan, maka dapat dilakukan dengan cara menutupi permukaan dengan lapis aspal (*prime coat*) kemudian dihamparkan pasir kasar.
- b) Apabila pekerjaan lapis perkerasan beraspal dikerjakan pada hari yang tidak sama dengan proses daur ulang dan lalu lintas tidak diperkenankan untuk melewatinya, maka dapat ditutup sementara dengan plastik/terpal atau bahan lain yang sesuai.

7.2 Metode IRBCAE dengan Proses Pengupasan (*Milling*)

Prosedur pelaksanaan pekerjaan IRBCAE dengan pengupasan (*milling*) ditunjukkan pada Gambar 11 dan hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses pelaksanaan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 11– Prosedur pelaksanaan IRBCAE dengan pengupasan (*mililing*)



Gambar 12– Bagan alir pelaksanaan IRBCAE dengan pengupasan

7.2.1 Penyiapan Permukaan

Lapis perkerasan beraspal cukup tebal (> 10 cm) dan/atau peninggian elevasi jalan sulit dilakukan dan/atau lapis perkerasan beraspal tidak memungkinkan atau tidak memadai untuk didaur ulang, maka sebagian atau seluruh lapis perkerasan beraspal dikupas terlebih dahulu menggunakan *cold milling machine* sampai mencapai ketebalan lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang sesuai yang ditentukan, dan dikeluarkan dari area pekerjaan. Untuk kasus di mana seluruh ketebalan lapis perkerasan beraspal dikupas, maka lapis perkerasan yang didaur ulang hanya berupa lapis fondasi agregat.

Setelah dilakukan pengupasan sebagian atau seluruh lapis perkerasan beraspal, kemudian lakukan pembersihan, perbaikan, perataan dan pembentukan seperti diuraikan dalam Subbab 7.1.1.

7.2.2 Penebaran Semen, Penebaran Aspal Emulsi, Pencampuran, Pemadatan dan Pembentukan Akhir, dan Perawatan

Penebaran semen, penebaran aspal emulsi, pencampuran, pemadatan dan pembentukan akhir, dan perawatan IRBCAE dengan pengupasan (*milling*) dilakukan dengan prosedur yang sama, sesuai dengan ketentuan pada Subbab 7.1.2 – 7.1.5.

8 Pengendalian Mutu

Pengendalian mutu dilakukan baik sebelum proses daur ulang, selama proses daur ulang ataupun setelah selesai proses daur ulang agregat lapis perkerasan dengan semen dan aspal emulsi. Pemeriksaan rutin dilakukan oleh pihak Penyedia Jasa di bawah Pengawasan Pengawas Pekerjaan yang selanjutnya akan melakukan pengujian di laboratorium untuk memastikan hasil pekerjaan memenuhi spesifikasi yang berlaku.

8.1 Verifikasi Kondisi Awal Agregat Lapis Perkerasan yang Akan Didaur Ulang dan Pemeriksaan Kadar Air

- a) Kadar air dari contoh agregat lapis perkerasan yang akan didaur ulang diperiksa sesuai SNI 03-1965-1990 atau SNI 1971:2011 atau cara lain yang sesuai. Pengujian kadar air ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air agregat lapis perkerasan dan menyesuaikannya jika tidak memenuhi ketentuan.
- b) Bilamana diperlukan penambahan agregat yang baru untuk perbaikan gradasi agregat lapis perkerasan yang akan didaur ulang ataupun meninggikan alinyemen vertikal jalan, agregat yang ditambahkan tersebut harus diperiksa secara acak minimum satu kali untuk setiap ruas pekerjaan 200 m atau sesuai yang ditentukan Pengawas Pekerjaan. Jenis pemeriksaan yang perlu dilakukan terutama gradasi.

8.2 Permukaan Lapis Perkerasan yang Akan Didaur Ulang

Permukaan lapis perkerasan yang akan didaur ulang dibersihkan atau dibebaskan dari kotoran, tanaman atau bahan lain yang tidak dikehendaki, dan dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi Ketentuan Subbab 7.1.1. Elevasi awal permukaan lapis perkerasan yang telah dibentuk tersebut diukur menggunakan alat ukur yang sesuai dan dicatat. Hasil pengukuran dapat digunakan untuk keperluan evaluasi elevasi akhir lapis IRBCAE.

8.3 Penggemburan

Apabila diperlukan, sebelum penebaran semen dan aspal emulsi, lapis perkerasan yang akan didaur ulang digemburkan terlebih dahulu sampai mencapai ukuran butir atau gumpalan maksimum 50 mm sesuai Ketentuan Subbab 4.2.1.

Untuk pemeriksaan penggemburan tersebut, ambil contoh agregat lapis perkerasan yang telah digemburkan sebanyak minimum 5 kg, kemudian diayak menggunakan ayakan 2 inci (50 mm),

dan semuanya harus lolos ayakan tersebut (100% lolos ayakan 50 mm). Pemeriksaan penggemburan minimum satu kali (3 titik secara zigzag) untuk setiap ruas pekerjaan 200 m.

8.4 Kadar Semen

Kadar semen yang digunakan ditentukan berdasarkan hasil percobaan campuran di lapangan (jika dilakukan) atau hasil percobaan laboratorium sesuai Subbab 5.8 dengan mempertimbangkan faktor efisiensi alat pencampur.

8.5 Kadar Aspal Emulsi

Kadar aspal emulsi yang digunakan ditentukan berdasarkan hasil percobaan di laboratorium sesuai subbab 5.5 dengan mempertimbangkan faktor efisiensi alat pencampur.

8.6 Jumlah Semen Tertebar

Jumlah penebaran semen ditentukan berdasarkan persentase kadar semen yang digunakan di lapangan, dihitung sesuai Persamaan (8).

$$\text{Jumlah penebaran semen } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \text{MDD} \times C \times D \quad \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

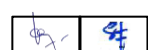
MDD = kepadatan kering maksimum laboratorium campuran (kg/m^3);

C = kadar semen (%);

D = ketebalan total padat IRCBC (m).

Pemeriksaan jumlah semen tertebat dilakukan untuk menjamin jumlah penebaran semen sesuai dengan jumlah penebaran yang telah dihitung sebelumnya. Prosedur pemeriksaan jumlah penebaran semen, sebagai berikut:

- a) Penebaran secara mekanis menggunakan alat penebar mekanis
Apabila penebaran semen dilakukan secara mekanis (penebaran menggunakan alat penebar mekanis), maka jumlah penebaran dapat ditentukan dengan salah satu cara berikut ini,
 - 1) Memeriksa selisih berat sebelum dan setelah penebaran melalui timbangan yang tersedia pada alat penebar (dianjurkan hanya untuk pengendalian penebaran).
 - 2) Menggunakan talam logam atau matras seluas 1 m^2 yang telah diketahui beratnya. Talam logam atau matras tersebut diletakkan pada permukaan lapis perkerasan yang didaur ulang di antara roda alat penebar. Setelah alat penebar lewat, ambil talam logam atau matras yang telah berisi semen dan ditimbang. Jumlah semen tertebat per meter persegi adalah sebesar berat talam logam atau matras yang telah berisi semen dikurangi berat talam atau matras itu sendiri.
- b) Penebaran secara manual
Pemeriksaan dilakukan untuk menjamin kantong-kantong semen ditempatkan pada titik-titik dengan jarak sesuai dengan yang ditentukan.



8.7 Jumlah Aspal Emulsi Tertebar

Jumlah aspal emulsi yang tertebat dapat dilakukan dengan cara melakukan kalibrasi pada saat *setting controller box road stabilizer* dan/atau dengan menggunakan Persamaan (9) atau dikontrol melalui *flow meter* pada *dashboard* pada alat *road stabilizer*.

$$\text{Jumlah penebaran aspal emulsi} = W \times D \times V \times \gamma \times E \times 10 \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

W = lebar pencampuran, m. (input pada *controller box*);

D = kedalaman pencampuran, m;

V = kecepatan kerja alat pencampur, m/menit;

γ = kepadatan kering maksimum (MDD), g/cm³ (input pada *controller box*);

E = kadar aspal emulsi (%).

8.8 Pencampuran

Pemeriksaan pencampuran dilakukan untuk mengetahui apakah kadar air, keseragaman atau homogenitas dan kedalaman pencampuran sesuai ketentuan.

- a) Pemeriksaan kadar air pencampuran, sebagai berikut.
Contoh campuran sebelum dan setelah pencampuran basah yang mewakili diambil untuk pengujian kadar air menggunakan standar yang sesuai. Kadar air setelah pencampuran haruslah sebagaimana ditentukan sesuai Subbab 7.1.3.
- b) Pemeriksaan keseragaman campuran:
Pemeriksaan keseragaman pencampuran dilakukan dengan menggali lubang atau parit sampai dasar lapis IRBCAE dan periksa campuran yang tersingkap secara visual. Campuran yang baik memiliki warna dan tekstur yang seragam dari permukaan sampai dasar dan campuran yang tampak berlapis-lapis menunjukkan pencampuran belum seragam
- c) Pemeriksaan kedalaman pencampuran:
Pemeriksaan kedalaman pencampuran dapat dilakukan dengan mengukur langsung pada lubang atau parit untuk pemeriksaan keseragaman pencampuran, dengan menggunakan alat ukur panjang (meteran).

8.9 Kadar Air dan Kepadatan Lapangan

Pemeriksaan kepadatan lapangan lapis IRBCAE dilakukan minimum dua titik untuk setiap ruas pekerjaan (200 m) dengan jarak antara titik maksimum 100 m secara zigzag, menggunakan alat kerucut pasir (*sand cone*) sesuai SNI 2828-2011 atau alat pemeriksaan berteknologi nuklir (*nuclear density*) dan lain-lain sesuai spesifikasi.

Untuk mendapatkan nilai derajat kepadatan lapangan, kepadatan lapangan hasil pengujian dengan alat kerucut pasir (*sand cone*) dibandingkan dengan kepadatan laboratorium, sesuai Persamaan (10). Derajat kepadatan lapangan yang harus dicapai harus sama atau lebih besar dari 100% kepadatan kering maksimum di laboratorium. Apabila derajat kepadatan lapangan masih kurang maka lintasan alat pemadat ditambah seperlunya.

$$D = \frac{DD_{lap}}{MDD} \times 100 \quad \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan

D = tingkat kepadatan lapangan, %;

DD_{lap} = kepadatan kering lapangan lapis IRBCAE, g/cm³;

MDD = kepadatan kering maksimum laboratorium, g/cm³ .

Perlu diperhatikan, kadar air yang diperoleh pada pengujian kepadatan lapangan harus sama dengan kadar air optimum atau paling kurang 2% di bawah kadar air optimum sesuai subbab 7.1.4.

8.10 Kekuatan

Kekuatan lapis IRBCAE dinyatakan dalam nilai UCS atau lainnya sesuai yang ditetapkan dalam spesifikasi yang berlaku, lihat Tabel 3.

Contoh campuran yang telah menunjukkan keseragaman yang baik sesuai Subbab 8.8.b, diambil minimum pada dua titik untuk setiap ruas pekerjaan (200 m) dengan jarak antara titik maksimum 100 m secara zigzag dan segera dibuat benda uji UCS. Untuk pembuatan benda uji UCS ini, dilakukan sesuai pembuatan benda uji stabilitas *Marshall* dengan jumlah tumbukan masing-masing 50 kali pada kedua sisi atau ujung benda uji. Pengujian UCS dilakukan setelah melalui proses perawatan 7 hari (6 hari pada suhu ruang dan 1 hari direndam dalam air) dengan prosedur sesuai 1974:2023 atau SNI 6887:2012.

8.11 Penyesuaian Dimensi Lapis IRBCAE

- a) Ketebalan akhir lapis IRBCAE diperiksa setelah pemadatan akhir dan harus sesuai dengan ketebalan rencana atau yang ditentukan dalam spesifikasi yang berlaku. Pengukuran ketebalan dapat dilakukan dengan cara, sebagai berikut:
 - 1) Melakukan penggalian pada lapisan IRBCAE yang telah dipadatkan kemudian dilakukan pemeriksaan visual warna campuran sesuai subbab 8.8.b). Ukur ketebalan lapisan yang menunjukkan keseragaman warna menggunakan alat ukur panjang (meteran).
 - 2) Apabila memungkinkan, dilakukan pengambilan contoh inti (*core*) dan tingginya diukur alat ukur panjang (meteran).
- b) Panjang dan lebar
 Panjang dan lebar lapis IRBCAE diukur menggunakan alat ukur yang sesuai dan harus sesuai dengan panjang dan lebar rencana atau yang ditentukan dalam spesifikasi yang berlaku.
- c) Permukaan lapisan
 Permukaan lapis IRBCAE harus rata dan elevasi serta potongan melintang sesuai ditunjukkan dalam Gambar atau spesifikasi yang berlaku. Kerataan permukaan diperiksa setiap 25 m dengan menggunakan alat pengukur kerataan (*straight edge*) panjang 3 m yang diletakkan di permukaan lapis IRBCAE sejajar sumbu jalan atau dari mal bersudut yang diletakkan melintang.



8.12 Waktu dan Lama Pengerjaan

- a) Pelaksanaan daur ulang (termasuk penebaran bahan semen, penebaran aspal emulsi, pencampuran, pemadatan dan pembentukan) dilakukan pada cuaca yang baik, tidak dalam keadaan hujan.
- b) Lama pelaksanaan daur ulang sejak pencampuran basah sampai dengan pemadatan akhir tidak boleh melebihi waktu pengikatan semen yang digunakan.

8.13 Perawatan (*Curing*)

Apabila diperlukan perawatan, maka selama waktu perawatan perlu dilakukan pengamatan secara periodik untuk memastikan permukaan lapis fondasi daur ulang dengan semen dan aspal emulsi tersebut dalam kondisi lembap.

Bibliografi

AASHTO M 20-70 (2004), *Penetration-Graded Asphalt Cement*

Japan Road Association. 2019. Handbook for Asphalt Pavement

Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor Pd T-08-2005-B tentang Perencanaan Campuran Lapis Fondasi Hasil Daur Ulang Perkerasan Lama dengan Semen

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286)

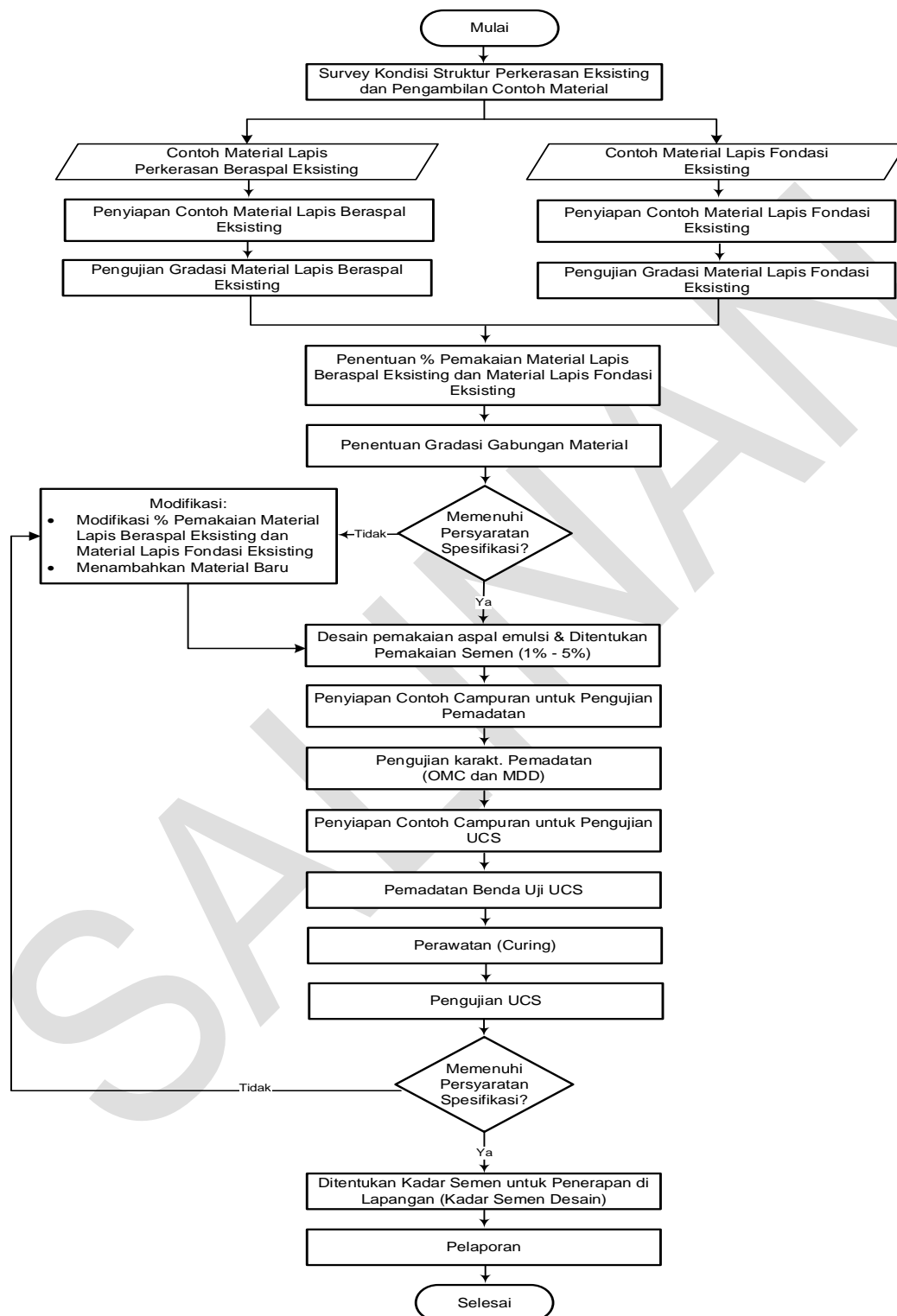
Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 15/SE/Db/2024 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan 2024

Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama		Unit Kerja
1	Pemrakarsa	Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum	
2	Koordinator	Rakhman Taufik, ST, M.SC	Plt. Direktur Bina Teknik Jalan dan Jembatan
3	Penyusun	Yohanes Ronny PA, S.T, M.T.	Kepala Balai Bahan Jalan
		Silvester Fransisko, S.ST.	KBK Bahan Berbutir
		Ifkar Haqqy, S.T.	Balai Bahan Jalan
4	Narasumber	Dr. Eri Susanto Hariyadi, S.T., M.T.	Institut Teknologi Bandung
		Dr. Ir., Diyanti, S.T., M.T.	Universitas Gunadarma
		Arief Priyanto S.T.	PT Sakai Indonesia
		Puti Ayu Faras Madani S.Tr.T.	PT Sakai Indonesia
5	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	

Lampiran A
(Normatif)
Bagan Alir Perancangan Campuran Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi



Gambar A – Bagan alir perancangan campuran daur ulang perkerasan dengan semen dan aspal emulsi

Lampiran B

(Informatif)

Contoh Perancangan Campuran Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi di Laboratorium

- 1) Menentukan jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang didaur ulang

Jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang didaur ulang dihitung sesuai Persamaan (1) dalam pedoman ini, yaitu berdasarkan ketebalan rencana dan berat isi dari masing-masing agregat lapis perkerasan yang didaur ulang.

Misalkan, ketebalan total lapis perkerasan yang didaur ulang adalah 20,0 cm, terdiri dari lapis perkerasan beraspal (D_1) = 6,0 cm dan lapis fondasi agregat (D_2) = 14,0 cm. Berat isi agregat lapis perkerasan (a) = 2,4 g/cm³ dan berat isi agregat lapis fondasi (b) = 2,1 g/cm³. Jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal (P_1) dan lapis fondasi (P_2) yang didaur ulang adalah sebagai berikut:

$$P_1 = \frac{D_1 \times a}{(D_1 \times a + D_2 \times b)} \times 100 \text{ dan } P_2 = 100 - P_1$$

$$P_1 = \frac{6,0 \times 2,4}{(6,0 \times 2,4 + 14,0 \times 2,1)} \times 100 = 32,9\% \text{ dan } P_2 = 100 - 32,9 = 67,1\%$$

- 2) Menentukan gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan agregat lapis fondasi terpasang

Gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi ditentukan berdasarkan gradasi masing-masing lapis perkerasan dan jumlah persentase pemakaiannya dalam campuran, sesuai Persamaan (2) dalam pedoman ini. Untuk jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal ($P_1 = 32,9\%$) dan jumlah pemakaian agregat lapis fondasi ($P_2 = 67,1\%$), gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi (G_c) ditunjukkan pada Tabel B.1. Hasil analisis atau perhitungan gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang didaur ulang harus memenuhi persyaratan gradasi gabungan agregat yang disyaratkan.

Tabel B. 1 – Hasil perhitungan gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi

Ukuran ayakan, mm	Gradasi, % lolos ayakan			
	Agregat lapis perkerasan beraspal (G_1)	Agregat lapis fondasi (G_2)	Gabungan (G_c)	Persyaratan
50,0				100
37,5	100	100	100	95 – 100
25,0	75,0	94,6	88,2	
19,0	65,0	79,2	74,5	50 – 100
12,5	50,0	70,0	63,4	
4,75	25,0	47,1	39,8	
2,36	15,0	30,6	25,5	20 – 60

Ukuran ayakan, mm	Gradasi, % lolos ayakan			
	Agregat lapis perkerasan beraspal (G ₁)	Agregat lapis fondasi (G ₂)	Gabungan (G _c)	Persyaratan
0,075	0,0	1,4	0,9	0 – 15
Keterangan $G_c = (P_1 \times G_1) + (P_2 \times G_2)$ G_c = gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal dengan agregat lapis fondasi. G_1 = gradasi agregat lapis perkerasan beraspal, ditentukan berdasarkan pengalaman. G_2 = gradasi agregat lapis fondasi, ditentukan berdasarkan hasil pengujian gradasi. P_1 = jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal yang didaur ulang (= 32,9%). P_2 = jumlah pemakaian agregat lapis fondasi yang didaur ulang (= 67,1%).				

3) Menentukan kadar aspal emulsi dan semen

Berdasarkan gradasi gabungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel B.1, diperoleh jumlah agregat tertahan ayakan 2,36 mm ($p_1 = 74,5\%$), jumlah agregat lolos ayakan 2,36 mm dan tertahan ayakan 0,075 mm ($p_2 = 24,5\%$), jumlah agregat lolos ayakan 0,075 mm ($p_3 = 0,9\%$) dan jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal dalam campuran sesuai langkah 1) di atas adalah sebesar 32,9% ($P_1 = 32,9\%$). Dengan menggunakan Persamaan (3) dalam pedoman ini, ditentukan kadar aspal emulsi, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{AE} &= (0,04 \times p_1) + (0,07 \times p_2) + (0,12 \times p_3) - (0,013 \times P_1) \\
 &= (0,04 \times 74,5) + (0,07 \times 24,5) + (0,12 \times 0,9) - (0,013 \times 32,9) \\
 &= 4,4\%
 \end{aligned}$$

Kadar semen yang digunakan, umumnya ditetapkan berdasarkan pengalaman, minimum 3 variasi kadar semen dalam rentang 2 – 5%.

4) Menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum

Kadar air optimum (*optimum moisture content*, OMC) dan kepadatan kering maksimum (*maximum dry density*, MDD) digunakan sebagai acuan untuk pembuatan benda uji kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*, UCS) dan untuk pengendalian pemadatan di lapangan. Penentuan OMC dan MDD ini dilakukan untuk setiap variasi kadar semen yang digunakan.

Untuk menentukan OMC dan MDD ini, dilakukan sesuai tahapan berikut ini:

a) Menentukan dan menyiapkan contoh agregat per fraksi ukuran butir yang digunakan

Pada tahap ini, contoh agregat yang digunakan adalah lolos ayakan 25,0 mm. Oleh karena contoh agregat perkerasan mengandung fraksi ukuran butir yang lebih besar dari 25,0 mm maka untuk kebutuhan pengujian atau penentuan OMC dan MDD, gradasi agregat perkerasan yang ada harus dimodifikasi terlebih dahulu dengan mengasumsikan semua agregat yang digunakan lolos ayakan 25,0 mm (lolos ayakan 25,0 mm adalah 100%) sehingga fraksi ukuran butir yang lebih kecil akan berubah semuanya, yaitu menggunakan persentase lolos 25,0 mm dari agregat perkerasan sebagai pembanding.

Misalkan, dari gradasi agregat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel B.1, diperoleh jumlah agregat lapis fondasi yang lolos ayakan 25,0 mm adalah sebesar 94,6%. Apabila agregat lapis fondasi yang lolos ayakan 25,0 mm dimodifikasi menjadi 100% maka untuk fraksi yang lolos ayakan 19,0 mm dihitung dengan cara membagi nilai persentase fraksi yang lolos ayakan 19,0 mm (= 79,2) dengan nilai persentase fraksi yang lolos ayakan 25,0 mm (= 94,6) dikalikan dengan 100%, yaitu sebesar 83,7%. Demikianpun untuk fraksi yang lolos ayakan 12,5 mm dan seterusnya yang lebih kecil, dihitung dengan membagi nilai persentase fraksi yang lolos ayakan yang digunakan dengan nilai persentase fraksi yang lolos ayakan 25,0 mm (= 94,6) dikalikan dengan 100%. Gradasi dari masing-masing agregat dan gabungannya setelah dimodifikasi ditunjukkan pada Tabel B.2.

Tabel B. 2 – Gradasi agregat setelah dimodifikasi

Ukuran ayakan, mm	Gradasi, % lolos ayakan					
	Agregat lapis perkerasan beraspal		Agregat lapis fondasi		Gabungan	
	Terpasang (G ₁)	Setelah modifikasi (G' ₁)	Terpasang (G ₂)	Setelah modifikasi (G' ₂)	Terpasang (G _c)	Setelah modifikasi (G' _c)
50,0						
37,5	100		100		100	
25,0	75,0	100	94,6	100	88,2	100
19,0	65,0	86,7	79,2	83,7	74,5	84,7
12,5	50,0	66,7	70,0	74,0	63,4	71,6
4,75	25,0	33,3	47,1	49,8	39,8	44,4
2,36	15,0	20,0	30,6	32,3	25,5	28,3
0,075	0,0	0,0	1,4	1,5	0,9	1,0
Keterangan: $G'_c = (P_1 \times G'_1) + (P_2 \times G'_2)$ G'_c = gradasi gabungan agregat lapis perkerasan beraspal terpasang dan lapis fondasi terpasang setelah dimodifikasi. G'_1 = gradasi agregat lapis perkerasan beraspal terpasang setelah dimodifikasi. G'_2 = gradasi agregat lapis fondasi terpasang setelah dimodifikasi. P_1 = jumlah pemakaian agregat lapis perkerasan beraspal terpasang yang didaur ulang (= 32,9%). P_2 = jumlah pemakaian agregat lapis fondasi terpasang yang didaur ulang (= 67,1%).						

b) Menentukan jumlah kebutuhan agregat per fraksi ukuran butir

Untuk menentukan jumlah kebutuhan agregat per fraksi ukuran butir, ditentukan terlebih dahulu persentase per fraksi dari agregat tersebut berdasarkan jumlah persentase lolos per ayakan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel B.2. Fraksi ukuran butir yang digunakan mencakup fraksi 25,0 – 19,0 mm, 19,0 – 12,5 mm, 12,5 – 4,75 mm, 4,75 – 2,36 mm dan fraksi ukuran butir < 2,36 mm. Jumlah persentase per fraksi ukuran butir merupakan selisih antara persentase lolos ayakan terbesar dan terkecil dari fraksi ukuran butir tersebut.

Misalkan, dari Tabel B.2, jumlah lolos ayakan 25,0 mm dari agregat lapis fondasi setelah dimodifikasi adalah sebesar 100% dan jumlah lolos ayakan 19,0 mm dari agregat lapis fondasi setelah dimodifikasi adalah sebesar 83,7%, maka jumlah fraksi

ukuran butir 25,0 – 19,0 mm yang digunakan untuk pengujian adalah $100 - 83,7 = 16,3\%$. Demikian pun untuk fraksi ukuran butir 19,0 – 12,5 mm, yaitu $83,7 - 74,0 = 9,7\%$. Selanjutnya ditentukan berat masing-masing agregat yang digunakan berdasarkan jumlah total contoh agregat yang diperlukan per benda uji dan jumlah pemakaian masing-masing agregat dalam campuran, lihat Tabel B.3. Jumlah total agregat yang digunakan umumnya 1150 g.

Tabel B. 3 – Jumlah kebutuhan agregat per benda uji

Fraksi ukuran butir, mm	Jumlah agregat per fraksi, %		Jumlah agregat per fraksi berdasarkan jumlah pemakaiannya dalam campuran, %		Jumlah kebutuhan agregat per benda uji, g (berat total agregat 1150 g)	
	Lapis perkerasan beraspal	Lapis fondasi agregat	Lapis perkerasan beraspal ($P_1 = 32,9\%$)	Lapis fondasi agregat ($P_2 = 67,1\%$)	Lapis perkerasan beraspal	Lapis fondasi agregat
26,5 – 19,0	13,3	16,3	4,4	10,9	50,4	125,7
19,0 – 13,2	20,0	9,7	6,6	6,5	75,6	75,1
13,2 – 4,75	33,3	24,2	11,0	16,2	126,0	186,9
4,75 – 2,36	13,3	17,4	4,4	11,7	50,4	134,6
< 2,36	20,0	32,3	6,6	21,7	75,6	249,7
Jumlah	100	100	32,9	67,1	378,1	771,9
			100		1150,0	

c) Menentukan jumlah penambahan aspal emulsi, semen dan air

Jumlah aspal emulsi dan semen dihitung berdasarkan jumlah total campuran agregat perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang, aspal emulsi dan semen; sedangkan penambahan air dihitung sesuai Persamaan (5) dalam pedoman ini.

(1) Jumlah penambahan aspal emulsi per benda uji

Untuk total campuran agregat perkerasan beraspal terpasang, agregat lapis fondasi terpasang, aspal emulsi dan semen (P_{TC}) sebesar 100%, kebutuhan agregat per benda uji untuk pengujian pemadatan (P_{AG}) adalah persentase total (P_{TC}) dikurangi persentase pemakaian aspal emulsi (P_{AE}) dan semen (C). Misalkan jumlah pemakaian semen (C) = 3,5%, maka:

$$\begin{aligned}
 P_{AG} &= 100 - P_{AE} - C \\
 &= 100 - 4,4 - 3,5 \\
 &= 92,1\%
 \end{aligned}$$

Untuk persentase pemakaian agregat dalam campuran sebesar 92,1% adalah 1150 g, maka total campuran per benda uji (W_{TC}) = $1150 / (92,1\%) = 1248,6$ g. Dengan demikian maka berat aspal emulsi (AE) per benda uji yang harus disiapkan, $AE = P_{AE} \times W_{TC} = 4,4\% \times 1248,6 \text{ g} = 54,9 \text{ g}$.

(2) Jumlah penambahan semen per benda uji

Sama dengan perhitungan berat aspal emulsi, untuk jumlah pemakaian semen sebesar 3,5%, berat semen yang digunakan per benda uji adalah $3,5\% \times 1248,6 \text{ g} = 43,7 \text{ g}$

(3) Jumlah penambahan air per benda uji

Jumlah air yang dibutuhkan dihitung sesuai Persamaan (5), yaitu berdasarkan berat total agregat (A), berat semen (C), berat aspal emulsi (AE), kadar air target (w) dan kadar residu aspal emulsi (R).

$$W_w = \left\{ \left(A + C + AE \times \frac{R}{100} \right) \times \frac{w}{100} \right\} - \left\{ \left(AE \times 1 - \frac{R}{100} \right) \right\}$$

Misalkan, berat total agregat perkerasan beraspal dan agregat lapis fondasi yang digunakan (A) = 1150 g, berat semen (C) = 43,7 g, berat aspal emulsi (AE) = 54,9 g, kadar air target (w) = 4,0%, kadar residu aspal emulsi (R) = 57% maka berat air yang harus ditambahkan (W_w),

$$\begin{aligned} W_w &= \left\{ \left(1150 + 43,7 + 54,9 \times \frac{57}{100} \right) \times \frac{4,0}{100} \right\} - \left\{ \left(54,9 \times 1 - \frac{57}{100} \right) \right\} \\ &= 25,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan penambahan aspal emulsi, semen dan air selengkapya ditunjukkan pada Tabel B.4.

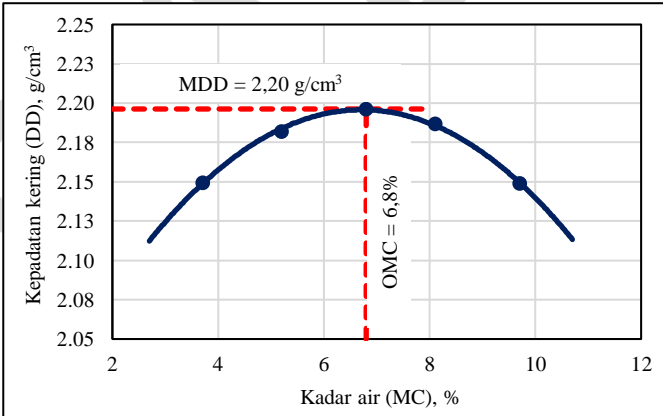
d) Pencampuran dan pemadatan contoh campuran

Untuk pencampuran dan pemadatan contoh campuran, lihat ketentuan 5.6.f pada pedoman ini.

e) Plot data hasil pengujian dalam bentuk kurva hubungan antara kadar air dan kepadatan kering, dan ditentukan OMC maupun MDD. Setiap variasi kadar semen akan diperoleh OMC dan MDD masing-masing.

Misalkan untuk jumlah pemakaian semen 3,5%, diperoleh kurva hubungan antara kadar air dan kepadatan kering, lihat Gambar B.1. Dari kurva tersebut diperoleh (OMC) = 6,80% dan MDD) = 2,20 g/cm³.

Tabel B. 4 – Penentuan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD)

Pekerjaan : Rancangan campuran daur ulang perkerasan					Tanggal :								
Jenis contoh : Campuran agregat perkerasan dengan semen dan aspal emulsi					Dikerjakan : oleh								
Data perhitungan berat contoh agregat, semen dan aspal emulsi yang dipersiapkan per benda uji													
Fraksi ukuran butir, mm	Jumlah agregat perkerasan per fraksi ukuran butir, %		Jumlah agregat perkerasan per fraksi ukuran butir, g		Jumlah semen								
	Lapis Perkerasan Beraspal	Lapis Fondasi Agregat	Lapis Perkerasan Beraspal	Lapis Fondasi Agregat	$C = \frac{3,5 \text{ \%}}{43,7 \text{ g}}$								
26,5 – 19,0	4,4	10,9	50,4	125,7	Jumlah aspal emulsi								
19,0 – 13,2	6,6	6,5	75,6	75,1									
13,2 – 4,75	11,0	16,2	126,0	186,9									
4,75 – 2,36	4,4	11,7	50,4	134,6									
< 2,36	6,6	21,7	75,6	249,7	$AE = \frac{4,4 \text{ \%}}{54,9 \text{ g}}$								
Jumlah	32,9	67,1	378,1	771,9									
	100		1150										
Data benda uji dan hasil pengujian													
Kadar air target, %	Berat air, g	Tinggi rata-rata, cm	Diameter, cm	Volume, cm ³	Berat basah, g	Kadar air, %	Berat kering, g	Kepadatan kering, g/cm ³					
4,0	25,4	7,2	10	565,5	1260,5	3,7	1215,5	2,150					
5,5	43,8	7,2	10	565,5	1298,1	5,2	1233,9	2,182					
7,0	62,1	7,1	10	557,6	1308,0	6,8	1224,7	2,196					
8,5	80,5	7,2	10	565,5	1336,8	8,1	1236,6	2,187					
10,0	98,9	7,3	10	573,3	1351,6	9,7	1232,1	2,149					
Catatan 1:													
$Ww = \left\{ \left(A + C + AE \times \frac{R}{100} \right) \times \frac{w}{100} \right\} - \left\{ \left(AE \times 1 - \frac{R}{100} \right) \right\}$													
Ww = berat air yang ditambahkan, A = berat total agregat, C = jumlah semen (g), E = jumlah aspal emulsi, w = kadar air target, dan R = kadar residu aspal emulsi (%)													
						<table><tr><td>Kadar air optimum (OMC)</td><td>= 6,80 %</td></tr><tr><td>Kepadatan kering maksimum (MDD)</td><td>= 2,20 g/cm³</td></tr></table>				Kadar air optimum (OMC)	= 6,80 %	Kepadatan kering maksimum (MDD)	= 2,20 g/cm ³
Kadar air optimum (OMC)	= 6,80 %												
Kepadatan kering maksimum (MDD)	= 2,20 g/cm ³												
Catatan 2:													

Gambar B. 1 – Kurva hubungan kadar air (MC) – kepadatan kering (DD)

5) Menentukan UCS, regangan primer dan kekuatan residual

Sama dengan untuk pengujian pemadatan (penentuan OMC dan MDD), tahapan pengujian UCS dimulai dari penentuan dan penyiapan contoh agregat per fraksi ukuran butir yang digunakan, penentuan jumlah kebutuhan agregat per fraksi ukuran butir, penentuan jumlah penambahan aspal emulsi, semen dan air yang diperlukan mencapai kadar air target (sesuai OMC), pencampuran dan pemadatan contoh campuran, lihat 5.7.a – 5.7.g dalam pedoman ini, dan selanjutnya dilakukan perawatan dan pengujian kuat tekan bebas sesuai 5.7.h – 5.7.1 dalam pedoman ini.

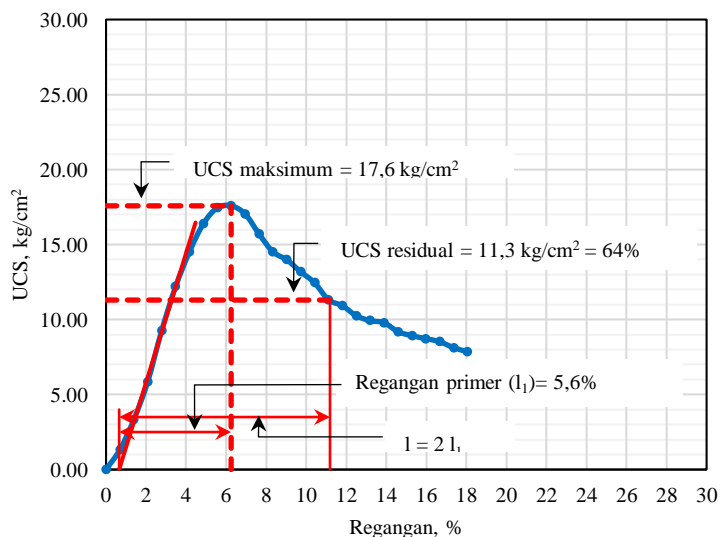
Contoh hasil perhitungan jumlah agregat, semen dan aspal emulsi per benda uji ditunjukkan pada Tabel B.5, dan contoh hasil pengujian UCS ditunjukkan pada Tabel B.6 – Tabel B.8. Resume hasil pengujian UCS dari masing-masing variasi kadar semen dibuatkan dalam bentuk Tabel seperti ditunjukkan pada Tabel B.9, terutama nilai UCS, regangan primer dan UCS residual.

Tabel B. 5 – Data hasil perhitungan berat contoh agregat, semen dan aspal emulsi yang dipersiapkan per benda uji UCS

Pekerjaan : Rancangan campuran daur ulang perkerasan					Tanggal :					
Jenis contoh : Campuran agregat perkerasan dengan semen dan aspal emulsi					Dikerjakan : oleh					
Fraksi ukuran butir, mm	Jumlah agregat perkerasan per fraksi ukuran butir, %		Jumlah agregat perkerasan per fraksi ukuran butir, g		Semen		Aspal emulsi		Air, %	
	Lapis perkerasan beraspal	Lapis fondasi agregat	Lapis perkerasan beraspal	Lapis fondasi agregat	%	g	%	g	%	g
26,5 – 19,0	4,4	10,9	50,4	125,7	3,5	43,7	4,4	54,9	6,8	59,7
19,0 – 13,2	6,6	6,5	75,6	75,1						
13,2 – 4,75	11,0	16,2	126,0	186,9						
4,75 – 2,36	4,4	11,7	50,4	134,6						
< 2,36	6,6	21,7	75,6	249,7						
Jumlah	32,9	67,1	378,1	771,9						
	100		1150		3,5	43,7	4,4	54,9	6,8	59,7

Tabel B. 6 – Hasil pengujian UCS

Kadar semen	3,5	%	Kadar aspal emulsi	4,4	%
Benda uji No. 1					
Tinggi benda uji	7,20	cm	X-Faktor (kalibrasi dial penurunan)	0,001	cm/div
Luas penampang benda uji	78,54	cm ²	Y-Faktor (kalibrasi dial pembebanan)	5,23	kg/div
Pembacaan dial penurunan,		Regangan,	Pembacaan dial beban,		
div	cm	%	div	kg	UCS, kg/cm ²
0	0.00	0.0	0	0.0	0.0
50	0.05	0.7	20	104.6	1.3
100	0.10	1.4	50	261.5	3.3
150	0.15	2.1	88	460.2	5.9
200	0.20	2.8	139	727.0	9.3
250	0.25	3.5	183	957.1	12.2
300	0.30	4.2	218	1140.1	14.5
350	0.35	4.9	246	1286.6	16.4
400	0.40	5.6	262	1370.3	17.4
450	0.45	6.3	264	1380.7	17.6
500	0.50	6.9	256	1338.9	17.0
550	0.55	7.6	236	1234.3	15.7
600	0.60	8.3	218	1140.1	14.5
650	0.65	9.0	210	1098.3	14.0
700	0.70	9.7	198	1035.5	13.2
750	0.75	10.4	187	978.0	12.5
800	0.80	11.1	170	889.1	11.3
850	0.85	11.8	164	857.7	10.9
900	0.90	12.5	154	805.4	10.3
950	0.95	13.2	149	779.3	9.9
1000	1.00	13.9	147	768.8	9.8
1050	1.05	14.6	138	721.7	9.2
1100	1.10	15.3	134	700.8	8.9
1150	1.15	16.0	131	685.1	8.7
1200	1.20	16.7	128	669.4	8.5
1250	1.25	17.4	122	638.1	8.1
1300	1.30	18.1	118	617.1	7.9
1350	1.35	18.8			
1400	1.40	19.4			
1450	1.45	20.1			
1500	1.50	20.8			



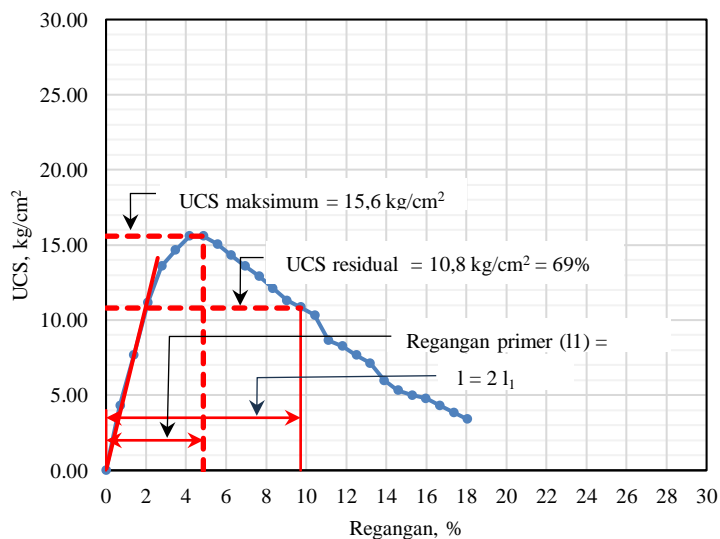
Gambar B. 2 – Kurva hubungan UCS – Regangan benda uji no. 1

UCS Maksimum	= 17,6	kg/cm ²	= 1,76	Mpa
Regangan Primer	= 5,6	%		
UCS Residual	= 11,3	kg/cm ²	= 1,13	Mpa
UCS Residual	= 64	%		

Catatan:

Tabel B. 7 – Hasil pengujian UCS

Kadar semen	3,5	%	Kadar aspal emulsi	4,4	%
Benda uji No. 2					
Tinggi benda uji	7,20	cm	X-Faktor (kalibrasi dial penurunan)	0,001	cm/div
Luas penampang benda uji	78,54	cm ²	Y-Faktor (kalibrasi dial pembebanan)	5,23	kg/div
Pembacaan dial penurunan,		Regangan,	Pembacaan dial beban,		
div	cm	%	div	kg	UCS, kg/cm ²
0	0.00	0.0	0	0.0	0.0
50	0.05	0.7	65	340.0	4.3
100	0.10	1.4	115	601.5	7.7
150	0.15	2.1	168	878.6	11.2
200	0.20	2.8	204	1066.9	13.6
250	0.25	3.5	220	1150.6	14.6
300	0.30	4.2	234	1223.8	15.6
350	0.35	4.9	234	1223.8	15.6
400	0.40	5.6	226	1182.0	15.0
450	0.45	6.3	215	1124.5	14.3
500	0.50	6.9	204	1066.9	13.6
550	0.55	7.6	194	1014.6	12.9
600	0.60	8.3	182	951.9	12.1
650	0.65	9.0	170	889.1	11.3
700	0.70	9.7	163	852.5	10.9
750	0.75	10.4	155	810.7	10.3
800	0.80	11.1	130	679.9	8.7
850	0.85	11.8	124	648.5	8.3
900	0.90	12.5	115	601.5	7.7
950	0.95	13.2	107	559.6	7.1
1000	1.00	13.9	90	470.7	6.0
1050	1.05	14.6	80	418.4	5.3
1100	1.10	15.3	75	392.3	5.0
1150	1.15	16.0	72	376.6	4.8
1200	1.20	16.7	65	340.0	4.3
1250	1.25	17.4	58	303.3	3.9
1300	1.30	18.1	51	266.7	3.4
1350	1.35	18.8			
1400	1.40	19.4			
1450	1.45	20.1			
1500	1.50	20.8			



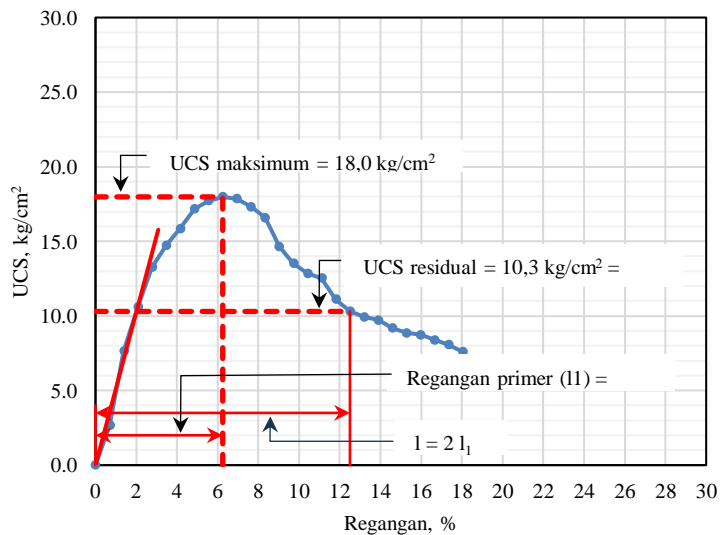
Gambar B. 3 – Kurva hubungan UCS – Regangan benda uji no. 2

UCS Maksimum = 15,6 kg/cm² = 1,56 Mpa
 Regangan Primer = 4,9 %
 UCS Residual = 10,8 kg/cm² = 1,08 Mpa
 UCS Residual = 69 %

Catatan:

Tabel B. 8 – Hasil pengujian UCS

Kadar semen	3,5	%	Kadar aspal emulsi	4,4	%
Benda uji No. 3					
Tinggi benda uji	7,20	cm	X-Faktor (kalibrasi dial penurunan)	0,001	cm/div
Luas penampang benda uji	78,54	cm ²	Y-Faktor (kalibrasi dial pembebanan)	5,23	kg/div
Pembacaan dial penurunan,		Regangan,	Pembacaan dial beban,		
div	cm	%	div	kg	UCS, kg/cm ²
0	0.00	0.0	0	0.0	0.0
50	0.05	0.7	40	209.2	2.7
100	0.10	1.4	115	601.5	7.7
150	0.15	2.1	159	831.6	10.6
200	0.20	2.8	199	1040.8	13.3
250	0.25	3.5	221	1155.8	14.7
300	0.30	4.2	238	1244.7	15.8
350	0.35	4.9	258	1349.3	17.2
400	0.40	5.6	266	1391.2	17.7
450	0.45	6.3	270	1412.1	18.0
500	0.50	6.9	268	1401.6	17.8
550	0.55	7.6	260	1359.8	17.3
600	0.60	8.3	249	1302.3	16.6
650	0.65	9.0	220	1150.6	14.6
700	0.70	9.7	203	1061.7	13.5
750	0.75	10.4	193	1009.4	12.9
800	0.80	11.1	188	983.2	12.5
850	0.85	11.8	167	873.4	11.1
900	0.90	12.5	155	810.7	10.3
950	0.95	13.2	149	779.3	9.9
1000	1.00	13.9	146	763.6	9.7
1050	1.05	14.6	138	721.7	9.2
1100	1.10	15.3	133	695.6	8.9
1150	1.15	16.0	131	685.1	8.7
1200	1.20	16.7	126	659.0	8.4
1250	1.25	17.4	121	632.8	8.1
1300	1.30	18.1	114	596.2	7.6
1350	1.35	18.8			
1400	1.40	19.4			
1450	1.45	20.1			
1500	1.50	20.8			



Gambar B. 4 – Kurva hubungan UCS – Regangan benda uji no. 3

UCS maksimum = 18,0 kg/cm² = 1,80 Mpa
 Regangan Primer = 6,3 %
 UCS Residual = 10,3 kg/cm² = 1,03 Mpa
 UCS Residual = 57 %

Catatan:

Tabel B. 9 – Resume hasil pengujian UCS, regangan primer, dan UCS residual

Semen (C), %	Aspal emulsi (P _{AE}), %	No.	Tinggi, cm	Diameter, cm	Volume, cm ³	Berat sebelum direndam, g	Berat setelah direndam, g	Penyerapan air, %	Berat kering, g	Kepadatan kering, g/cm ³	UCS, kg/cm ²	Regangan primer, %	UCS residual	
													kg/cm ²	%
2,0	4,4	1	7,2	10,0	565,5	1227,9	1264,4	3,0	1160,5	2,05	9,7	4,4	5,4	56
		2	7,3	10,0	573,3	1233,4	1272,0	3,1	1166,5	2,03	5,1	4,0	3,2	63
		3	7,2	10,0	565,5	1227,1	1263,7	3,0	1163,5	2,06	6,2	4,5	4,1	66
		Rata-rata	7,2	10,0	568,1	1229,5	1266,7	3,0	1163,5	2,05	7,0	4,3	4,2	62
3,5	4,4	1	7,2	10,0	565,5	1268,9	1295,2	2,1	1241,0	2,19	17,6	5,6	11,3	64
		2	7,2	10,0	565,5	1261,0	1287,8	2,1	1236,0	2,19	15,6	4,9	10,8	69
		3	7,2	10,0	565,5	1271,8	1295,0	1,8	1247,0	2,21	18,0	6,3	10,3	57
		Rata-rata	7,2	10,0	565,5	1267,2	1292,7	2,0	1241,3	2,20	17,0	5,6	10,8	64
5,0	4,4	1	7,5	10,0	589,0	1298,0	1326,4	2,9	1224,0	2,08	22,1	5,4	13,8	62
		2	7,5	10,0	589,0	1287,9	1319,3	2,4	1316,5	2,23	20,9	5,6	12,8	61
		3	7,5	10,0	589,0	1265,5	1315,6	4,0	1214,4	2,06	19,8	5,5	12,4	63
		Rata-rata	7,5	10,0	589,0	1283,8	1320,4	2,9	1251,6	2,12	20,9	5,5	13,0	62

6) Menentukan kadar semen desain

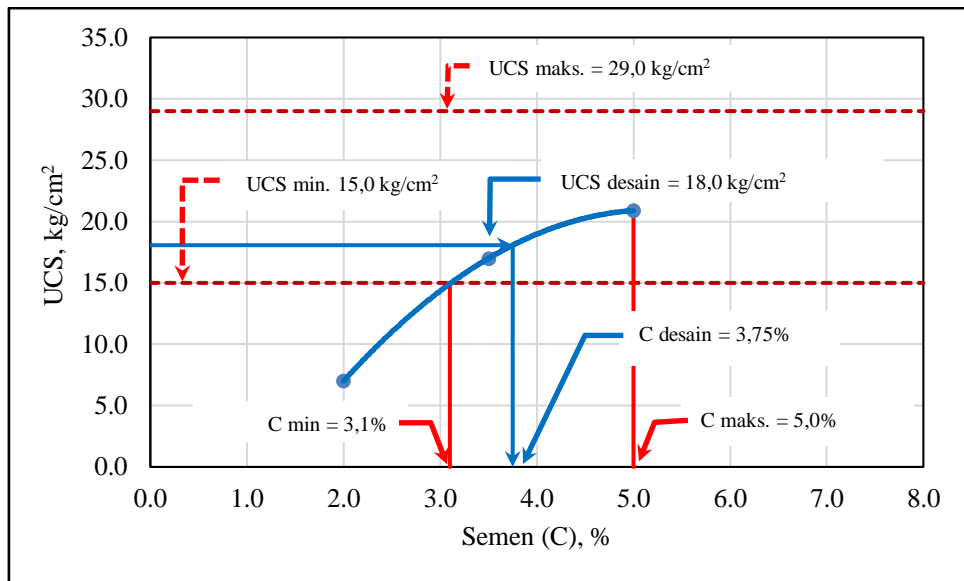
Nilai UCS rata-rata, regangan primer rata-rata dan UCS residual rata-rata sesuai Tabel B.9 diplotkan dalam bentuk kurva hubungannya dengan kadar semen, lihat Gambar B.5 – Gambar B.7. Selanjutnya dari kurva hubungan antara kadar semen dengan UCS rata-rata, ditentukan kadar semen desain, yaitu kadar semen yang diperlukan untuk menghasilkan nilai rata-rata (nilai tengah) dari UCS yang dihasilkan, yang memenuhi persyaratan.

Misalkan, dari kurva hubungan antara kadar semen dan UCS rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar B.5 diperoleh nilai UCS yang memenuhi persyaratan, yaitu $15,0 \text{ kg/cm}^2 - 20,9 \text{ kg/cm}^2$ pada rentang kadar semen $3,1\% - 5,0\%$. Nilai rata-rata dari UCS yang memenuhi persyaratan adalah $((15,0 + 20,9)/2) = 17,95 \text{ kg/cm}^2 (\approx 18,0 \text{ kg/cm}^2)$. Dari kurva hubungan antara kadar semen dan UCS rata-rata tersebut diperoleh kadar semen desain sekitar $3,75\%$. Ditentukan nilai regangan primer dan UCS residual pada kadar semen desain ($3,75\%$) dan bandingkan dengan persyaratan. Regangan primer dan UCS residual yang diperoleh haruslah memenuhi persyaratan. Ditentukan pula OMC dan MDD pada kadar semen desain dari kurva hubungan antara kadar semen dengan OMC maupun MDD, digunakan sebagai acuan untuk pengendalian pemadatan di lapangan.

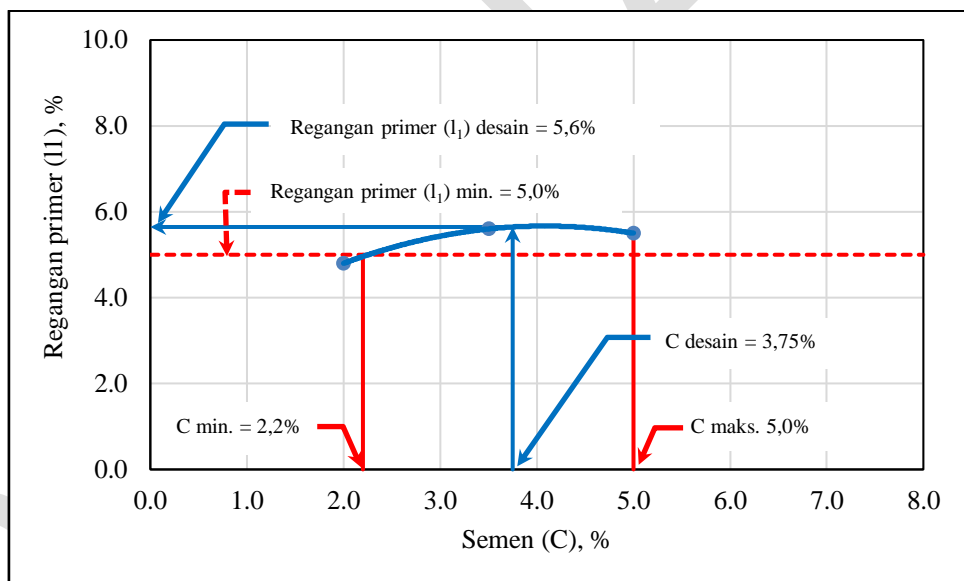
Dengan kadar semen desain $3,5\%$, diperoleh nilai UCS, regangan primer, UCS residual, OMC dan MDD seperti ditunjukkan pada Tabel B.10, memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam pedoman ini, dengan nilai OMC sekitar $6,7\%$ dan MDD sekitar $2,204 \text{ g/cm}^3$, lihat Gambar B.8 dan Gambar B.9.

Tabel B. 10 – Kadar semen desain beserta sifat dan kekuatan yang dihasilkan

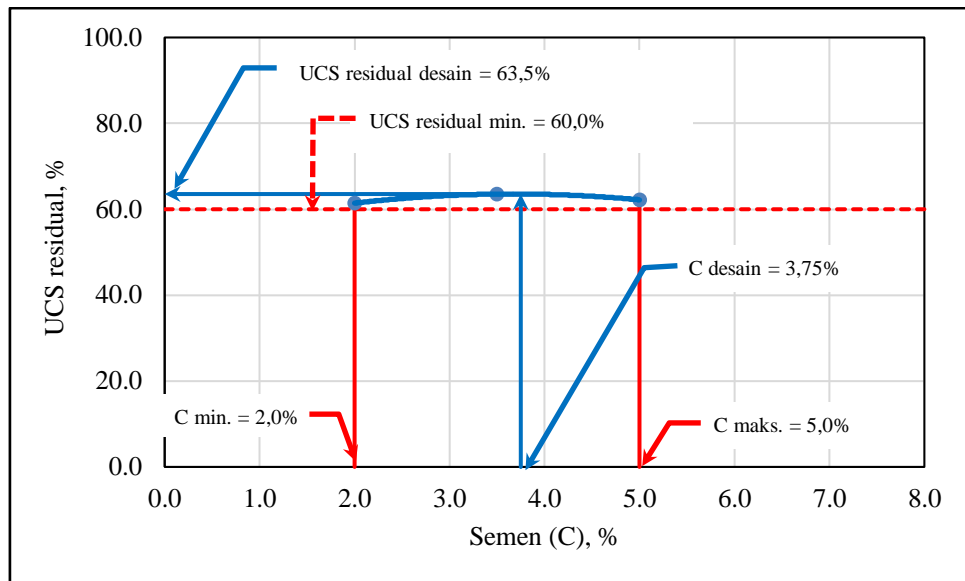
Sifat dan Kekuatan	Hasil Desain	Persyaratan	Pemenuhan Persyaratan
• Kadar semen desain, %	3,75	3 – 5	Memenuhi
• UCS, kg/cm^2	18,0	15 – 29	Memenuhi
• Regangan primer, %	5,6	Min. 5,0	Memenuhi
• UCS residual, %	63,5	Min. 60,0	Memenuhi
• Kadar air optimum (OMC), %	6,7	-	-
• Kepadatan kering maksimum (MDD), g/cm^3	2,202	-	-



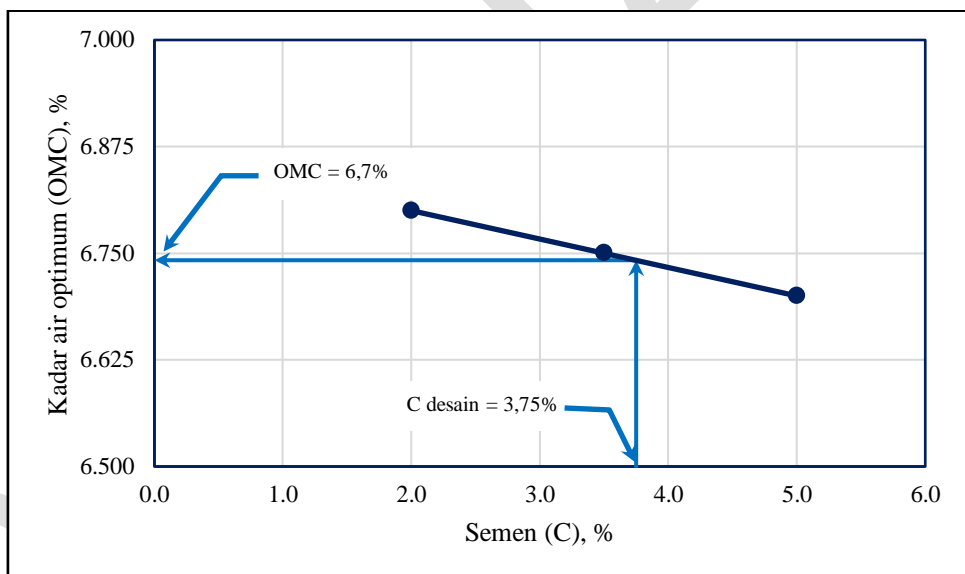
Gambar B. 5 – Kurva hubungan antara kadar semen dengan UCS dan penentuan kadar semen desain



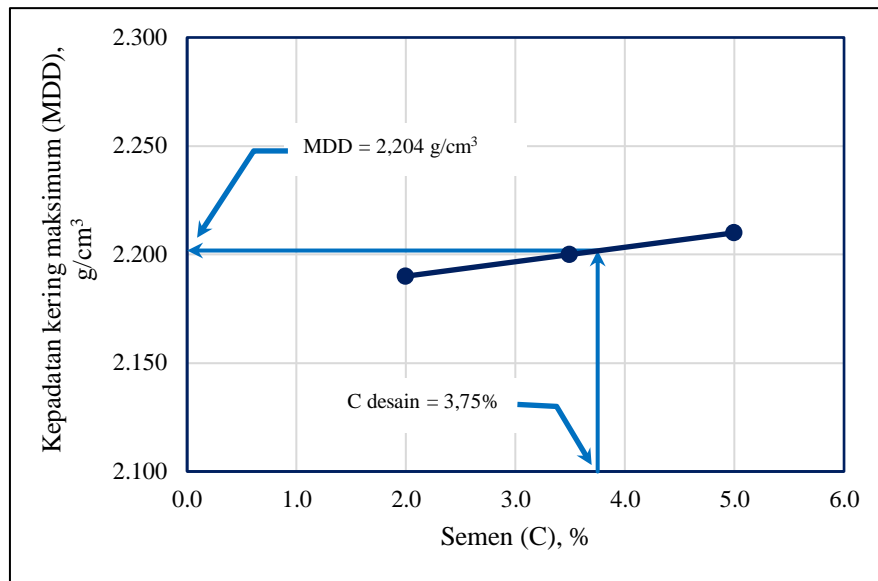
Gambar B. 6 – Kurva hubungan antara kadar semen dengan regangan primer



Gambar B. 7 – Kurva hubungan antara kadar semen dengan UCS residual dan penentuan UCS residual desain



Gambar B. 8 – Kurva hubungan antara kadar semen dengan OMC dan penentuan OMC untuk pengendalian pemadatan di lapangan










Gambar B. 9 – Kurva hubungan antara kadar semen dengan MDD dan penentuan MDD untuk pengendalian pemadatan di lapangan

Lampiran C
(Informatif)
Bahan dan Peralatan Laboratorium yang Disiapkan untuk Perancangan Campuran Daur Ulang Perkerasan dengan Semen dan Aspal Emulsi

Tabel C – Daftar bahan dan peralatan untuk perancangan campuran di laboratorium

No.	Pengambilan Sampel	Jumlah	
1	Excavator dan Hand Breaker	1	
2	Sekop Persegi atau Lancip	2~3	
3	Karung Sampel 20-50 kg	4~8	
Pengujian Sifat Bahan		Jumlah	
4	Bak Sampel (50-100 kg)	2~4	
5	Bak Sampel Besi (uk. Besar, Sedang, Kecil)	5~10	
6	Gelas Kertas 200-300 ml	10~12	
7	Timbangan Digital, Kap. 1kg -10 kg	2	
8	Oven 110 oC +/- 5 oC	1	

Pengujian Sifat Bahan		Jumlah			
9	Sekop Tangan (uk Sedang dan Kecil)	2~3			
Bahan Tambah		Jumlah			
10	Semen Portland	1 Bag (Approx. 20kg g)			
11	Aspal Emulsi Kationik	2L			
Pengujian Gradasi					
12	Saringan	No Saringan	Ukuran (mm)	Jumlah	 
		2"	50	1	
		1½"	37,5	1	
		1"	25	1	
		¾"	19	1	
		½"	12,5	1	
		3/8"	9,5	1	
		No.4	4,75	1	
		No.8	2,36	1	
		No.10	2	1	
		No.16	1,18	1	
		No.40	0,425	1	
		No.200	0,075	1	
Alat untuk Mencampur		Jumlah			
13	Wajan Metal (dia. 30-50 cm)	1			
14	Sekop Tangan Metal	1			

No.	Alat Pembuatan Sampel Pengujian	Jumlah	
15	Cetakan Pemadatan, Plat Bawah, Peninggian Cetakan (Ukuran : tinggi = 127mm Dia. = 100 mm)	6~9 Set	
16	Pemadat Otomatis (jika ada)	1	
17	Pemadat Manual (berat jatuh : 2.5 kg)	1	
18	Pendorong Sampel	1	
19	Palu	1	

Alat Pembuatan Sampel		Jumlah	
20	Cetakan Marshall, Plat Bawah dan Peninggian Cetakan (ukuran Tinggi = 88.9 mm dia. 101 mm)	6~9 Set	<p>Unit : mm</p>
21	Alat Pemadat Marshall Otomatis (jika ada)	1	
22	Alat Pemadat Marshall Manual (berat jatuh 4.5 kg)	1	<p>4.5kg</p>
Alat Perawatan Sampel		Jumlah	
23	Kotak Perendam Sampel : 30 C	1	
24	Alat Uji Kuat Tekan Bebas (Kap. lebih dari 50kN, Kecepatan Pembebanan : 1.0mm/menit) Jarum ukur 30mm maks Power Ring 50 kN maks	1	<p>Jarum Ukur</p> <p>Power Ring</p>

Arloji ukur (dial) penurunan

Proving ring

Lampiran D
(Informatif)
Kriteria Desain Struktural Perkerasan

Tabel D. 1 – Desain ketebalan lapis perkerasan berdasarkan kategori lalu lintas dan CBR tanah dasar

Kategori lalu lintas	Volume lalu lintas rencana perkerasan jalan (Volume lalu lintas kendaraan berat/hari/arah)	Ketebalan lapis perkerasan menggunakan lapis fondasi yang didaur ulang dengan aspal emulsi dan semen (T_A), cm					
		CBR 3	CBR 4	CBR 6	CBR 8	CBR 12	CBR 20
N7	Lebih besar dari 3.000	45	41	37	34	30	26
N6	Lebih besar 1.000 dan lebih kecil dari 3.000	35	32	28	26	23	20
N5	Lebih besar dari 250 dan lebih kecil dari 1.000	26	24	21	19	17	15
N4	Lebih besar dari 100 dan lebih kecil dari 250	19	18	16	14	13	11
N3	Lebih besar dari 40 dan lebih kecil dari 100	15	14	12	11	10	9
N2	Lebih besar dari 15 dan lebih kecil dari 40	12	11	10	9	8	7
N1	Lebih kecil dari 15	9	9	8	7	7	7

Tabel D. 2 – Koefisien ekuivalen lapis perkerasan terpasang

Material Struktural dari perkerasan terpasang		Koefisien	Catatan
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	Agregat pecah untuk stabilisasi mekanis	0,2 – 0,35	Tentukan tingkat kerusakan perkerasan dengan menggunakan kekuatan dari perkerasan baru sebagai nilai maksimum.
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	Agregat pecah	0,15 – 0,25	
	Stabilisasi dengan semen atau kapur	0,15 – 0,25	
Catatan : Menilai kerusakan perkerasan terpasang Ringan : rasio keretakan adalah 15% ke bawah Sedang : Perlu diperbaiki di beberapa bagian, rasio keretakan 15 – 35%. Berat : Perlu <i>overlay</i> atau perbaikan skala yang lebih besar (misalnya, penggantian), rasio keretakan 35% atau lebih.			

Tabel D. 3 – Ketebalan minimum lapis permukaan beraspal

Kategori Lalu Lintas	Volume lalu lintas yang diproyeksikan perkerasan (unit kendaraan berat/hari/ arah)	Ketebalan minimum dari lapisan permukaan (cm)
Dibawah N4	$T < 250$	5
N5	$250 \leq T < 1000$	10 (5)
Catatan: angka dalam tanda kurung menunjukkan ketebalan minimum jika menggunakan penstabil aspal semen daur ulang di tempat		

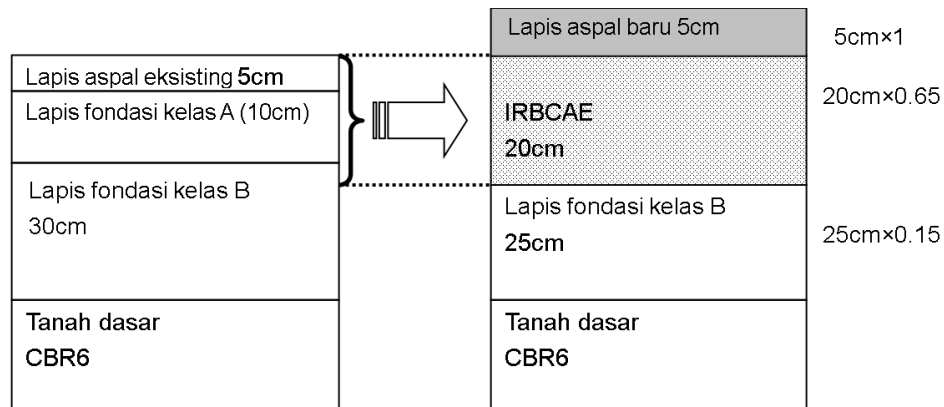
Tabel D. 4 – Ketebalan lapis fondasi daur ulang di tempat

Metode	Ketebalan maksimum (cm)	Ketebalan minimum (cm)
Daur ulang dengan menambahkan semen	30	15
Daur ulang dengan menambahkan semen dan aspal emulsi	30	10
Jika ketebalan lapis fondasi daur ulang di tempat lebih dari 20 cm, gunakan <i>vibrating roller</i> dengan efek pemadatan yang tinggi.		

Tabel D. 5 – Koefisien ekuivalen lapis fondasi daur ulang di tempat

<i>Position in use</i>	Metode – bahan	Spesifikasi	Koefisien ekuivalen lapisan
Lapis fondasi	Daur ulang dengan menambahkan semen di tempat	Kuat tekan bebas (7 day) 2,45 MPa	0,50 ¹⁾
	Daur ulang agregat lapis fondasi dengan menambahkan semen di tempat	Kuat tekan bebas (7 day) 2,9 MPa	0,55
	Daur ulang dengan menambahkan semen dan aspal emulsi di tempat	Kuat tekan bebas 1,5 – 2,9 MPa <i>First displacement</i> 5 – 30(1/100cm) <i>Residual strength ratio</i> $\geq 65\%$	0,65
¹⁾ Dalam hal daur ulang dengan menambahkan semen, koefisien lapisan ekuivalen harus lebih kecil daripada agregat baru, karena sudah memiliki kandungan aspal.			

Contoh hasil desain struktur perkerasan jalan ditunjukan pada Gambar D.A. Dalam contoh desain ini, jalan diasumsikan memiliki rasio keretakan lebih dari 40%, tingkat kerusakan yang tinggi, dan volume lalu lintas yang diproyeksikan harus ditingkatkan dari N4 ke N5. Perkerasan jalan harus diganti seluruhnya. Dengan CBR desain 6, dan volume lalu lintas N5, maka berdasarkan Tabel kategori lalu lintas dapat diperoleh target $T_A = 21$ cm.



$$T_{A0} = 5 \times 0.5 + 10 \times 0.2 + 30 \times 0.15$$

$$= 9 \text{ cm}$$

$$T_{A'} = 5 \text{ cm} \times 1 + 20 \text{ cm} \times 0.65 + 25 \text{ cm} \times 0.15$$

$$= 21.8 \text{ cm} > 21 \text{ cm}$$

Gambar D – Tipikal hasil desain perkerasan jalan

Lampiran E
(Informatif)
Contoh Perhitungan Jumlah Aspal Emulsi Tertebar

Tabel E – Contoh perhitungan jumlah aspal emulsi tertebat

VELOCITY (m/min)								
CONSTRUCTION CONDITION EMULSION CONTENT (%)	MIXING DEPTH (cm)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
3.0	10	39	45	52	58	65	71	77
	15	58	68	77	87	97	106	116
	20	77	90	103	116	129	142	155
	25	97	113	129	145	161	177	194
	30	116	135	155	174	194	213	232
	35	135	158	181	203	226	248	271
3.5	40	155	181	206	232	258	284	310
	10	45	53	60	68	75	83	90
	15	68	79	90	102	113	124	135
	20	90	105	120	135	151	166	181
	25	113	132	151	169	188	207	226
	30	135	158	181	203	226	248	271
4.0	35	158	184	211	237	263	290	316
	40	181	211	241	271	301	331	361
	10	52	60	69	77	86	95	103
	15	77	90	103	116	129	142	155
	20	103	120	138	155	172	189	206
	25	129	151	172	194	215	237	258
4.5	30	155	181	206	232	258	284	310
	35	181	211	241	271	301	331	361
	40	206	241	275	310	344	378	413
	10	58	68	77	87	97	106	116
	15	87	102	116	131	145	160	174
	20	116	135	155	174	194	213	232
5.0	25	145	169	194	218	242	266	290
	30	174	203	232	261	290	319	348
	35	203	237	271	305	339	372	406
	40	232	271	310	348	387	426	464
	10	65	75	86	97	108	118	129
	15	97	113	129	145	161	177	194
5.5	20	129	151	172	194	215	237	258
	25	161	188	215	242	269	296	323
	30	194	226	258	290	323	355	387
	35	226	263	301	339	376	414	452
	40	258	301	344	387	430	472	516
	10	71	83	95	106	118	130	142
	15	106	124	142	160	177	195	213
	20	142	166	189	213	237	260	284
	25	177	207	237	266	296	325	355
	30	213	248	284	319	355	390	426
	35	248	290	331	372	414	455	497
	40	284	331	378	426	473	520	568

$$Q = W \times D \times V \times \gamma \times E \times 10 \quad (\text{Lihat Persamaan 9})$$

Keterangan:

Q = emulsion spray amount per minute
(l/min)

W = mixing width (m) = 2,0 (input)

γ = Dry density maximum (g/cm³) = 2,150
(input)

D = mixing depth (m)

V = work velocity (m/min)

E = emulsion content (%)

Lampiran F
(Informatif)
**Gambar Proses Pekerjaan Lapis Fondasi Daur Ulang Perkerasan
dengan Semen dan Aspal Emulsi Langsung di Tempat**



Gambar F. 1 – Proses pekerjaan pengupasan aspal dengan *cold milling machine*



Gambar F. 2 – Penebaran semen secara manual



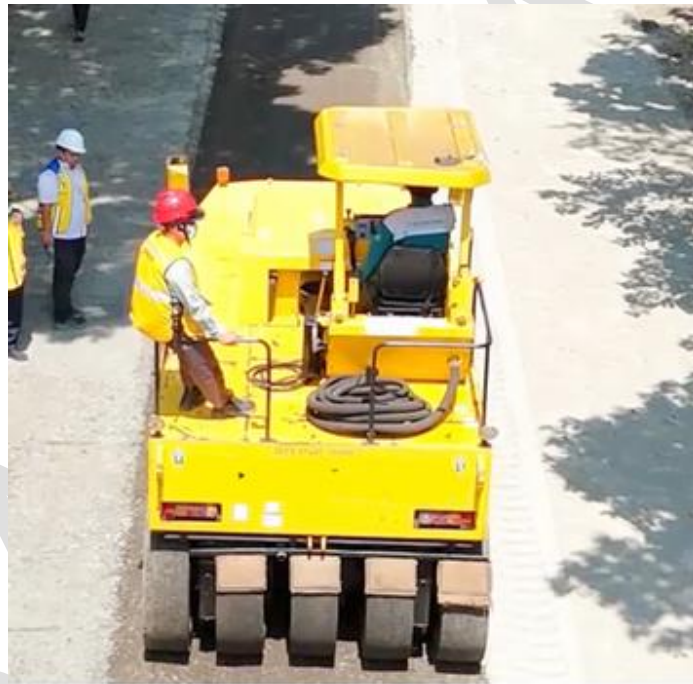
Gambar F. 3 – Alat *road stabilizer* terhubung dengan tangki aspal



Gambar F. 4 – Proses penggarukan dan pencampuran dengan gigi pada drum (rotor) alat *road stabilizer*



Gambar F. 5 – Hasil pencampuran perkerasan dengan semen dan aspal emulsi



Gambar F. 6 – Pemadatan awal dengan alat pemadatan roda karet



Gambar F. 7 – Pemadatan dengan *vibratory roller*



Gambar F. 8 – Hasil akhir dari stabilisasi perkerasan jalan dengan IRBCAE