

CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG DENGAN PROPORSI RAP TINGGI



Ir. Nono, M.Eng.Sc

2018



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

Jl.A.H. Nasution No. 264 PO BOX 2 Bandung 40294 Indonesia Telp. (022) 7802251 Fax (022) 7802726 email:info@pusjatan.pu.go.id

CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG DENGAN PROPORSI RAP TINGGI

Ir. Nono, M.Eng.Sc

Cetakan Pertama : Desember 2018

CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG DENGAN PROPORSI RAP TINGGI

Desember, 2018

Cetakan Ke-1, 2018 (53 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN :

Kode Kegiatan : 2432-051-001-104-FA

Kode Publikasi :

Kata Kunci : Teknologi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang

Penulis:

Ir. Nono, M.Eng.Sc

Editor:

Dr. Drs. Madi Hermadi, M.M

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2018, pada paket pekerjaan Kajian Pemanfaatan Bahan Sisa dan Bahan Limbah Untuk Perkerasan Jalan.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Badan Penelitian dan Pengembangan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

KATA PENGANTAR

Kebutuhan bahan jalan untuk pelaksanaan pemeliharaan dan pembangunan jalan baru di seluruh wilayah pada setiap tahunnya terus meningkat. Padahal ketersediaan akan sumber bahan, khususnya agregat standar dari tahun ke tahun ketersediaannya semakin terbatas. Selain itu, aspal juga pada setiap tahunnya selalu harus impor. Pemanfaatan penggunaan bahan sisa dan bahan limbah, yaitu berupa bahan garukan dari perkerasan beraspal yang diperbaiki (*Reclaimed Asphalt Pavement, RAP*) dapat digunakan sebagai suatu alternatif untuk mengurangi penggunaan aspal baru sehingga dapat mengefisienkan pemakaian produk dari fraksi minyak bumi. Selain itu dapat menghemat penggunaan agregat baru yang keberadaannya makin lama makin berkurang. Teknologi daur ulang ini merupakan *green technology* karena memanfaatkan limbah dari perkerasan jalan.

Menyadari pentingnya peran jalan dan keterbatasan pemerintah dalam membiayai penanganan jalan, penurunan ketersediaan agregat standar dan terbatasnya aspal, maka pada buku ilmiah ini menyajikan kinerja teknologi campuran beraspal panas daur ulang sebagai solusi pada permasalahan tersebut.

Dengan tersedianya teknologi bahan jalan dari bahan sisa dan bahan limbah tersebut diharapkan juga dapat mengatasi atau dapat mengurangi anggaran biaya untuk pemeliharaan dan pembangunan jalan baru.

Bandung, Desember 2018

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
1. PENDAHULUAN	1
2. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG	2
2.1. Manfaat Penggunaan RAP	2
2.2. Sifat dan Syarat RAP untuk Bahan Perkerasan Beraspal	4
2.3. Bahan Peremaja (Rejuvenile) dan Bahan Pengikat untuk Campuran Beraspal Panas Menggunakan RAP	5
2.4. Aplikasi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang di Luar dan Dalam Negeri	10
3. SPESIFIKASI BAHAN DAN CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG	12
3.1. Sifat bahan RAP.....	12
3.2. Aditif Rejuvenile.....	12
3.3. Spesifikasi Aspal Pen 60-70 dan Sifat Aspal Gabungan	14
3.4. Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang	17
4. SIFAT CAMPURAN BERASPAL PANAS LAPIS PERMUKAAN DAUR ULANG HASIL KAJIAN DI LABORATORIUM DAN DI LAPANGAN.....	21
4.1. Sifat Bahan	21
4.1.1. Sifat RAP	21
4.1.2. Sifat agregat baru.....	22
4.1.3. Sifat aspal.....	23
4.1.4. Sifat bahan peremaja (rejuvenile).....	24
4.2. Penentuan Proporsi Penggunaan RAP dan Bahan Peremaja	24
4.2.1. Proporsi penggunaan RAP dan bahan peremaja untuk ACWC Daur Ulang	24
4.2.2. Proporsi penggunaan RAP dan bahan peremaja untuk LTBA Daur Ulang	28
4.3. Sifat Campuran Beraspal Panas Daur Ulang	29
4.3.1. Volumetrik, parameter marshall dan ketahanan deformasi campuran beraspal panas daur ulang.....	29
4.3.2. Ketahanan fatik campuran beraspal panas daur ulang.....	31
5. PELAKSANAAN UJI COBA CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG DI LAPANGAN	33

5.1. Data Lokasi, Kondisi Perkerasan Eksisting dan Persiapan Produksi Campuran Beraspal	33
5.2. Hasil Uji Coba Campuran ACWC Daur Ulang	41
5.3. Hasil Uji Coba Campuran LTBA Daur Ulang	45
6. PENUTUP	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1. Batasan sifat aspal RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang	4
Tabel 2-2. Sifat aspal RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang	5
Tabel 2-3. Sifat bahan peremaja yang direkomendasikan NAPA (2015)	6
Tabel 2-4. Sifat bahan peremaja yang direkomendasikan ASTM (2010)	7
Tabel 2-5. Sifat bahan peremaja	7
Tabel 3-1. Persyaratan bahan daur ulang beraspal (RAP) hasil ekstraksi dan pemulihan.....	13
Tabel 3-2. Persyaratan sifat bahan peremaja.....	13
Tabel 3-3. Persyaratan sifat aspal Pen 60-70.....	14
Tabel 3-4. Persyaratan sifat aspal gabungan berdasarkan spesifikasi aspal kelas penetrasi	14
Tabel 3-5. Rumus perhitungan proporsi bahan campuran daur ulang	16
Tabel 3-6. Ketentuan gradasi agregat campuran beraspal panas.....	17
Tabel 3-7. Ketentuan campuran beraspal panas	18
Tabel 4-1. Sifat aspal dari RAP	21
Tabel 4-2. Sifat dan gradasi agregat dari RAP	21
Tabel 4-3. Sifat agregat baru	22
Tabel 4-4. Sifat Aspal Pen 60-70	23
Tabel 4-5. Sifat bahan peremaja	24
Tabel 4-6. Proporsi bahan ACWC untuk proporsi RAP sudah diketahui	25
Tabel 4-7. Proporsi bahan agregat stockpile dan RAP Cipularang	28
Tabel 4-8. Sifat campuran ACWC dengan menggunakan 50% dan 70% agregat RAP eks Tol A	30
Tabel 4-9. Sifat campuran LTBA _{RAP} dengan menggunakan 50% agregat RAP eks Tol B	30
Tabel 5-1. Kondisi permukaan perkerasan eksisting ruas jalan untuk uji coba ACWC daur ulang	33
Tabel 5-2. Kondisi permukaan perkerasan eksisting untuk uji coba LTBA daur ulang	36
Tabel 5-3. Kedalaman alur perkerasan eksisting untuk uji coba LTBA daur ulang.....	37
Tabel 5-4. Lendutan perkerasan jalan eksisting untuk uji coba LTBA daur ulang.....	37
Tabel 5-5. Proporsi agregat dari Hot Bin	41

Tabel 5-6. Sifat campuran beraspal panas dengan menggunakan 50% dan 70% agregat RAP dan agregat baru dari hot bin	43
Tabel 5-7. Proporsi bahan agregat Hot Bin dan RAP untuk LTBA	45
Tabel 5-8. Karakteristik campuran LTBA _{RAP}	47
Tabel 5-9. Lendutan perkerasan jalan umur 1 bulan	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji <i>fresh</i> dengan penambahan variasi <i>rejuvenile</i> (Sumber: Nono, 2017)	9
Gambar 2-2. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji setelah <i>RTFOT</i> dengan penambahan variasi <i>rejuvenile</i> (Sumber: Nono, 2017)	9
Gambar 2-3. Hubungan antara temperatur menengah kritis benda uji setelah <i>PAV</i> dengan penambahan variasi <i>rejuvenile</i> (Sumber: Nono, 2017)	9
Gambar 3-1. Contoh grafik pencampuran (<i>blending charts</i>) sesuai spesifikasi penetrasi aspal	15
Gambar 3-2. Contoh grafik pencampuran penetrasi aspal pen 60-70 setelah dicampur variasi proporsi bahan peremaja benda uji setelah kehilangan berat.....	16
Gambar 3-3. Alat <i>Wheel Tracking Machine</i> (WTM)	19
Gambar 3-4. Alat <i>Beam Fatigue Apparatus</i> (BFA) atau <i>Four Point Bending Apparatus</i>	20
Gambar 4-1. Gradasi agregat stockpile gabungan ACWC dengan 50% agregat RAP	25
Gambar 4-2. Gradasi agregat stockpile gabungan ACWC dengan 70% agregat RAP	25
Gambar 4-3. Proporsi aspal baru untuk target penetrasi aspal gabungan dengan 40 dmm setelah TFOT untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 50% untuk ACWC	26
Gambar 4-4. Proporsi aspal baru untuk target penetrasi aspal gabungan dengan 40 dmm setelah TFOT untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 70% untuk ACWC	26
Gambar 4-5. Nilai penetrasi aspal baru setelah TFOT pengaruh penambahan peremaja	27
Gambar 4-6. Proporsi bahan peremaja untuk penetrasi aspal baru setelah TFOT untuk penggunaan 50% dan 70% agregat RAP dan untuk ACWC	27
Gambar 4-7. Gradasi agregat stockpile gabungan $LTBA_{RAP}$ kasar eks Tol B	28
Gambar 4-8. Gradasi agregat stockpile gabungan $LTBA_{RAP}$ halus eks Tol B	28
Gambar 4-9. Stabilitas Marshall dan ketahanan deformasi campuran ACWC dan LTBA daur ulang.....	31

Gambar 4-10. Ketahanan campuran ACWC menggunakan 50% dan 70% RAP eks Tol A terhadap fatik	32
Gambar 5-1. Gambaran kondisi permukaan perkerasan eksisting untuk uji coba ACWC daur ulang	34
Gambar 5-2. Gambaran kondisi struktur perkerasan eksisting untuk uji coba ACWC daur ulang	34
Gambar 5-3. Lokasi ruas jalan Karawang-Cikampek dan Cikampek-Ciasem	35
Gambar 5-4. Kondisi permukaan perkerasan untuk uji coba LTBA daur ulang	36
Gambar 5-5. Lendutan df_1 dan df_2 ruas jalan Karawang-Cikampek	37
Gambar 5-6. Lendutan df_1 dan df_2 ruas jalan Cikampek-Ciasem	38
Gambar 5-7. AMP yang digunakan	38
Gambar 5-8. <i>Stockpile</i> material	39
Gambar 5-9. Hasil dari percobaan campuran	40
Gambar 5-10. Gradasi agregat baru dari Hot Bin dengan 50% agregat RAP	41
Gambar 5-11. Gradasi agregat baru dari Hot Bin dengan 70% agregat RAP	41
Gambar 5-12. Denah lokasi penghamparan campuran beraspal dengan RAP	42
Gambar 5-13. Foto pelaksanaan di lapangan	43
Gambar 5-14. Kondisi AC-WC _{RAP} setelah berumur sekitar 6 bulan	44
Gambar 5-15. Data kedalaman alur sampai dengan umur 6 bulan	45
Gambar 5-16. Data lendutan sampai dengan umur 6 bulan	45
Gambar 5-17. Gradasi agregat Hot Bin gabungan LTBA _{RAP} kasar	46
Gambar 5-18. Gradasi agregat Hot Bin gabungan LTBA _{RAP} halus	46
Gambar 5-19. Lokasi pelaksanaan penghamparan teknologi LTBA _{RAP}	47
Gambar 5-20. Pemantauan/ monitoring umur 1 (satu) bulan setelah pelaksanaan	48
Gambar 5-21. Lendutan maksimum ruas Karawang-Cikampek umur 1 bulan	50
Gambar 5-22. Lendutan maksimum ruas Cikampek-Ciasem umur 1 bulan	50

1. PENDAHULUAN

Saat ini volume dan beban kendaraan cenderung terus bertambah sehingga diperlukan suatu inovasi dalam bidang pemeliharaan jalan guna mempertahankan atau menambah umur rencana jalan dalam melayani beban lalu-lintas. Penambahan beban lalu lintas ini merupakan salah satu indikasi bahwa sektor perekonomian semakin meningkat, yang memang merupakan prioritas nasional berupa percepatan pertumbuhan Industri dan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK). Beberapa dampak negatif dari meningkatnya sektor ini adalah limbah yang dihasilkan. Dalam bidang jalan sendiri, kebutuhan akan kegiatan pemeliharaan atau rehabilitasi semakin meningkat, seiring dengan meningkatnya kerusakan jalan akibat beban lalu lintas. Dengan bertambahnya kebutuhan terhadap pemeliharaan atau rehabilitasi berdampak terhadap kebutuhan ketersediaan sumber daya alam yang semakin menipis, maka metode rehabilitasi jalan yang lebih efektif dan efisien harus didapatkan. Salah satu kegiatan rehabilitasi jalan adalah overlay atau peningkatan kapasitas jalan dengan cara penambahan lapis tambah, yang mana jika hal ini terus dilakukan akan mengakibatkan tebal lapis perkerasan semakin tebal dan memerlukan material yang cukup banyak.

Metode daur ulang (*recycling*) menggunakan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) merupakan salah satu cara dalam kegiatan rehabilitasi. Teknologi daur ulang perkerasan merupakan suatu alternatif kegiatan rehabilitasi yang memiliki beberapa keuntungan seperti dapat mengembalikan kekuatan perkerasan, mempertahankan geometrik jalan serta mengatasi ketergantungan akan material baru.

Rehabilitasi dengan proses daur ulang menggunakan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) akan menghasilkan bahan campuran yang nilai strukturnya dapat mengimbangi campuran yang baru jika diproses dan ditunjang dengan peralatan yang memadai. Sehingga lewat daur ulang aspal ini, diharapkan mampu mengatasi kerusakan jalan yang terjadi dan meningkatkan mutu jalan.

Pada tulisan ini dibahas tentang campuran beraspal panas daur ulang dengan memanfaatkan RAP dengan proporsi tinggi sehingga diharapkan dapat lebih bermanfaat bagi penyelenggara/pengelola jalan

2. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG

2.1. Manfaat Penggunaan RAP

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) adalah pemanfaatan bahan dari perkerasan beraspal lama yang sudah mengalami kerusakan kemudian digunakan kembali sebagai bahan campuran beraspal baru untuk perbaikan perkerasan jalan. Daur ulang perkerasan beraspal menjadi populer pada tahun 1970-an. NCHRP mempublikasikan bahan daur ulang untuk jalan pada tahun 1978 dan Pedoman Daur Ulang Perkerasan Bahan pada tahun 1980 (Copeland A., 2011). Pada awal 1990-an, FHWA dan Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat memperkirakan bahwa lebih dari 90 juta ton perkerasan beraspal direklamasi (yaitu, diubah menjadi bahan yang cocok untuk digunakan) pada setiap tahunnya, dan lebih dari 80 persen dari RAP yang didaur ulang. Untuk itu, campuran beraspal yang diproduksi paling banyak menggunakan bahan daur ulang (RAP), sehingga penggunaan agregat dan aspal baru dapat berkurang. Bahan RAP dapat digunakan kembali dalam campuran beraspal baru karena komponen dari campuran, yaitu bahan pengikat (aspal) dan agregat masih memiliki nilai. Menggunakan RAP dalam campuran beraspal baru dapat mengurangi jumlah material baru yang harus ditambahkan, menghemat biaya dan sumber daya alam. Selain itu, campuran beraspal panas dengan RAP memiliki performa yang sama dengan campuran beraspal panas yang dibuat dengan semua material baru (NCHRP, 2001).

Penggunaan ulang campuran beraspal dari hasil kupasan perkerasan lama tidak hanya berlaku untuk agregatnya saja, tetapi juga untuk aspal yang menempel pada agregatnya. Dalam hal tersebut, aspal masih mempunyai sifat adhesi sehingga dapat digunakan ulang pada campuran beraspal yang baru. Campuran beraspal dapat didaur ulang pada unit penyampur konvensional, dengan dimodifikasi kecil. Pengujian di laboratorium dan di lapangan terhadap campuran beraspal panas daur ulang menunjukkan bahwa campuran beraspal panas daur ulang mempunyai sifat-sifat yang sekurang-kurangnya sama dengan campuran beraspal yang menggunakan agregat baru. Semua unit penyampur aspal di Minnesota dapat digunakan untuk menyampur campuran beraspal hasil pengupasan garukan (*reclaimed asphalt pavement*, RAP).

Campuran beraspal bekas dapat 100% didaur ulang dan merupakan bahan daur ulang paling besar di Amerika Serikat sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap aspal dari luar. Penggunaan RAP untuk campuran beraspal panas dapat lebih ekonomis dibandingkan dengan biaya campuran beraspal panas yang menggunakan agregat dan aspal baru, yaitu dapat menghemat sekitar 30% (NCHRP, 2001). Namun menurut Xu. J., Huang. S dan Qin. Y. (2014), penggunaan RAP kurang dari 20% yang proses pencampurannya menggunakan *Hot Central Plant Recycling* (HCPR) adalah tidak menunjukkan keuntungan secara ekonomi yang signifikan bila dibandingkan dengan biaya pembuatan campuran beraspal panas dengan 100% agregat baru. Bahkan di beberapa daerah dan beberapa proyek, harga campuran beraspal dengan RAP adalah lebih tinggi dari harga campuran beraspal panas dengan 100% agregat baru. Hal demikian bilamana mempertimbangkan biaya pengangkutan dan pengolahan awal RAP (proses pemecahan), depresiasi mesin/peralatan tambahan, dan lain sebagainya.

Berdasarkan Sumantri dkk. (2014), penggunaan metode daur ulang untuk mengatasi permasalahan perbaikan jalan atau rekonstruksi jalan dapat menghemat penggunaan aspal dan batuan, serta tidak mengganggu atau merusak geometrik jalan akibat penumpukan lapisan perkerasan yang terus-menerus. Teknologi daur ulang memberikan beberapa manfaat, antara lain, untuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan (Novita P. dkk., 2009). Untuk itu, teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru sehingga nilai ekonomi bahan kupasan meningkat, hemat energi, dan geometrik jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam.

Upaya daur ulang aspal di Jepang didasarkan pada lima motif (NAPA, 2015):

- 1) Meminimalkan jumlah limbah bahan perkerasan aspal;
- 2) Penghematan sumber daya alam (bahan baku, terutama aspal dan agregat);
- 3) Konservasi energi (energi untuk mengekstraksi, mengolah, dan mengangkut bahan mentah);
- 4) Pengurangan karbon dioksida dengan menghemat energi; dan
- 5) Pengurangan biaya pengaspalan aspal.

2.2. Sifat dan Syarat RAP untuk Bahan Perkerasan Beraspal

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil aplikasi di lapangan penggunaan material daur ulang sering kali menemui beberapa kendala antara lain menurunnya sifat fisik dari material daur ulang, mengingat selama masa layannya telah menerima beban lalu lintas yang cukup berat. Selain itu, material daur ulang juga memiliki tingkat variabilitas yang cukup tinggi sehingga dapat berdampak pada perubahan gradasi dan durabilitas dari campuran.

Secara umum perkerasan daur ulang (*recycling*) memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan agregat baru dan atau bahan peremaja. Untuk mencapai hasil yang memadai pada umumnya aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Novita P. dkk., 2011). Selain itu, Qiu dkk. (2013) merekomendasikan penggunaan aspal yang telah menua dapat direkonstruksi dengan menggunakan bahan peremaja (*rejuvenile*).

Beberapa negara di Eropa telah membatasi penggunaan RAP dalam campuran beraspal, yaitu berdasarkan kekerasan bitumennya (nilai penetrasi dan atau nilai titik lembek) seperti disajikan pada Tabel 2-1 (Nono, 2017). Pada Tabel 2-1 terlihat bahwa pada umumnya RAP yang dapat dimanfaatkan atau digunakan untuk campuran beraspal adalah yang memiliki nilai penetrasi > 15 dmm dan titik lembeknya $< 70^{\circ}\text{C}$. Belgia dan Perancis masih mengizinkan menggunakan RAP yang memiliki nilai penetrasinya lebih rendah, yaitu berturut-turut > 10 dmm dan > 5 dmm.

Tabel 2-1. Batasan sifat aspal RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang

Negara	Sifat aspal <i>RAP</i>	
	Penetrasi (dmm)	Titik lembek ($^{\circ}\text{C}$)
Perancis	>5	<77
Belgia	>10	-
Inggris	>15	-
Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal	>15	<70
Slowakia	-	<70

Sumber: Nono (2017)

Menurut NAPA (2015), sifat RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk campuran daur ulang seperti disajikan pada Tabel 2-2

Tabel 2-2. Sifat aspal RAP hasil pemulihan yang direkomendasikan untuk daur ulang

Karakteristik	Persyaratan
Kadar aspal, %	Min. 3,8
Penetrasi aspal RAP pada 25°C, 100 g, 5 detik, 0,1 mm	Min. 20
Persentase agregat lolos ayakan 75 μ m (P200)	Maks. 5,0

Sumber: NAPA (2015)

Berdasarkan Copeland A (2011), RAP yang diperoleh dari lapangan harus diproses terlebih dahulu sebelum digunakan. Cara memproses RAP mencakup beberapa tahap agar homogen atau konsisten sehingga dapat digunakan dengan persentase yang banyak dan campuran beraspal memiliki kualitas yang tinggi dan memenuhi persyaratan. RAP harus dipecah agar ukuran butirannya sesuai yang diharapkan dan kemudian disaring untuk memisahkan ukuran butir RAP yang fraksi kasar dan halus serta yang berukuran besar (*oversize*). Pemisahan RAP berdasarkan ukuran meningkatkan kontrol dan mengurangi variabilitas. Sesuai AASHTO M 323. (2012) bahwa penggunaan RAP dalam campuran beraspal panas dengan proporsi 15% atau lebih, harus menggunakan aspal baru yang lebih lunak. Proporsi RAP dalam campuran beraspal panas yang praktis sesuai Asphalt Institute (1993) adalah sekitar (10 – 35)% untuk unit produksi jenis takaran, sedangkan untuk unit produksi jenis drum kuantitas yang praktis adalah sekitar (10 – 50)%.

2.3. Bahan Peremaja (Rejuvenile) dan Bahan Pengikat untuk Campuran Beraspal Panas Menggunakan RAP

Rejuvenile merupakan suatu peremaja bahan pengikat (aspal) dari RAP yang mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada RAP. Kemampuan senyawa aromatik ringan dari rejuvenile harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada RAP sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru (Qiu dkk., 2013).

Rejuvenile merupakan suatu aditif dengan viskositas rendah yang dirancang untuk mengembalikan sifat-sifat bahan pengikat (aspal) pada RAP dan untuk meningkatkan sifat-sifat campuran aspal yang mengandung RAP. Peremajaan yang ideal tidak hanya mengembalikan sifat mekanik aspal, tetapi harus dapat mengoreksi komposisi kimia dari aspal yang sudah menua (Lehtimäki, 2012). Bahan rejuvenile dari senyawa aromatik yang sangat ringan dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah dan deformasi permanen (Lehtimäki, 2012). Ekstrak senyawa aromatik pada peremajaan konvensional merupakan suatu molekul aromatik polar yang dominan, dengan kandungan sekitar 75% campuran minyak dan resin dengan sedikit minyak jenuh (Yu dkk., 2013). Berdasarkan Dony dkk (2012), bahan pelunak atau peremajaan (rejuvenile) yang dapat digunakan untuk campuran beraspal panas yang menggunakan RAP adalah bahan petrokimia yang asli, minyak goreng dan aspal yang lembek dengan penetrasi 160/220.

Sesuai AASHTO M 323 (2012) bahwa penggunaan RAP dalam campuran beraspal panas dengan proporsi 15% atau lebih harus menggunakan aspal baru yang lebih lunak, maka untuk membuat bahan pengikat baru adalah mencampurkan aspal Pen 60-70 dengan variasi masing-masing bahan pelunak atau peremajaan (rejuvenile) seperti diuraikan di atas. Pencampuran antara aspal Pen 60-70 dengan variasi masing-masing bahan peremajaan menggunakan alat pencampur khusus. Proses pencampuran aspal Pen 60-70 dipanaskan sampai dengan 130°C kemudian dimasukkan bahan peremajaan dan diaduk selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm.

Sifat bahan peremajaan yang direkomendasikan untuk campuran beraspal panas daur ulang sesuai NAPA (2015) adalah seperti disajikan pada Tabel 2-3, sedangkan sifat bahan peremajaan yang direkomendasikan oleh ASTM D4552/D4552M – 10 (2010) seperti disajikan pada Tabel 2-4.

Tabel 2-3. Sifat bahan peremajaan yang direkomendasikan NAPA (2015)

Pengujian	Kriteria
Viskositas kinematis pada 60°C	80 – 1000 cSt
Titik nyala, minimum,	250°C
Rasio viskositas setelah TFOT, maksimum	2.0
Perubahan berat setelah TFOT, maksimum	3%
Saturates/kerapatan pada 15°C	laporan
Komposisi, JPI-5S-70-10	laporan

Sumber: NAPA (2015)

Tabel 2-4. Sifat bahan peremaja yang direkomendasikan ASTM (2010)

Test	ASTM Test Method	RA 1		RA 5		RA 25		RA 75		RA 250		RA 500	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Viscosity 60°C (140°F), mm ² /s	D2170 or D2171	50	175	176	900	901	4500	4501	12500	12501	37500	37501	60000
Flash Point, COC, °C (°F)	D92	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-
Saturates, wt, %	D2007	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30
Tests on Residue From RTFOT or TFO oven 163oC (325oF)	D2872 or D1754												
- Viscosity Ratio ^A		-	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3
- Wt Change, ±, %		-	4	-	4	-	3	-	3	-	3	-	3
Specific Gravity	D70 Or D1298	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report	Report
^A Viscosity Ratio =		$\frac{\text{Viscosity of Residue from RTFO or TFO Oven Test 60°C (140°F), cSt}}{\text{Original Viscosity 60°C (140°F), cSt}}$											

Sumber: ASTM (2010)

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2015, jenis bahan pelunak atau peremaja (rejuvenile) yang digunakan untuk campuran beraspal panas adalah mencakup minyak nabati/goreng curah (MG), Oli SAE-10 dan ReJIRE (Nono, 2017). Sifat ketiga bahan peremaja tersebut disajikan pada Tabel 2-5. Pada Tabel 2-5, terlihat sifat fisik ketiga bahan peremaja memiliki viskositas, titik nyala dan berat jenis bervariasi. Viskositas MG dan Oli lebih rendah (encer) daripada ReJIRE. Adapun ketiga peremaja memiliki titik nyala cukup tinggi sehingga aman bila digunakan. Pada campuran beraspal dingin yang menggunakan RAP tidak menggunakan bahan pelunak atau peremaja (rejuvenile) khusus, namun hanya menggunakan aspal cair atau aspal emulsi yang mana residu aspal dari aspal cair dan aspal emulsi sudah cukup lunak.

Tabel 2-5. Sifat bahan peremaja

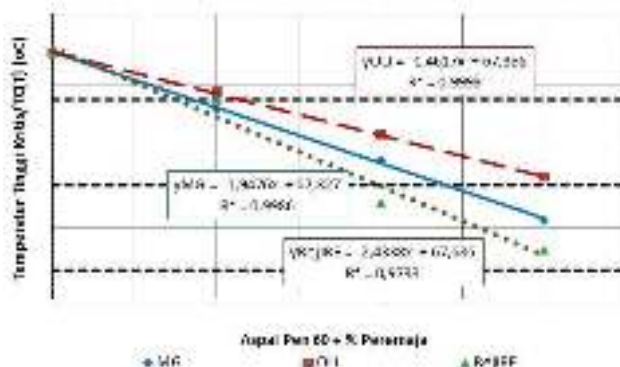
No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian		
		MG	OLI	ReJIRE
1.	Viskositas pada 25°C; cSt	103	165	276
	Viskositas pada 60°C; cSt	28,6	34,9	39,1
2.	Titik nyala; °C	322	218	296
3.	Berat jenis	0,921	0,874	0,996

Sumber: Nono (2017)

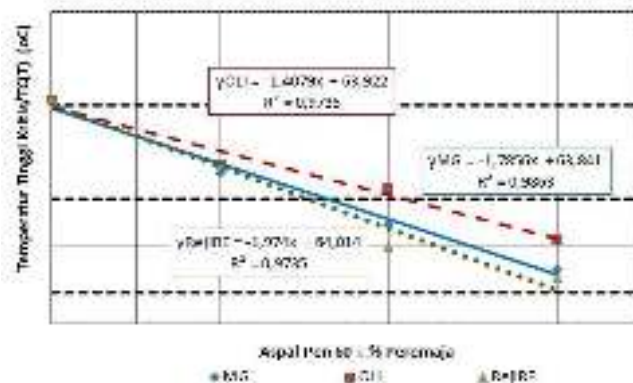
Sifat fisik aspal Pen 60-70 dan bahan pengikat baru (campuran antara aspal Pen 60 dengan variasi masing-masing bahan pelunak atau

peremaja) disajikan pada Tabel 2-6. Adapun sifat reologi aspal Pen 60-70 dan bahan pengikat baru, temperatur kritis campuran antara aspal Pen 60-70 dengan variasi proporsi MG, dengan variasi proporsi OLI, dan dengan variasi proporsi RejIRE hasil pengujian *DSR* disajikan pada Gambar 2-2 (temperatur tinggi kritis benda uji *fresh*), Gambar 2-3 (temperatur tinggi kritis benda uji setelah RTFO) dan Gambar 2-4 (temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$ yaitu benda uji setelah PAV).

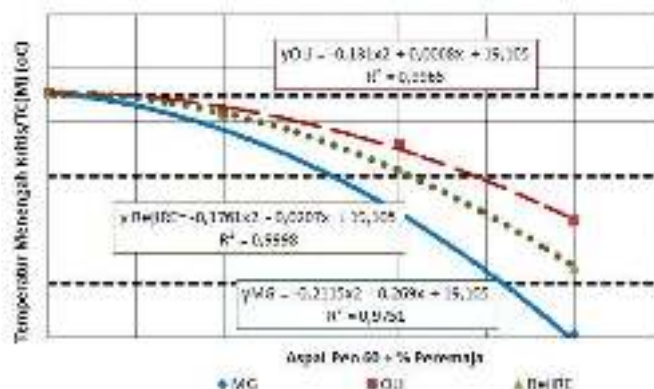
Sifat fisik aspal Pen 60-70 setelah ditambah variasi bahan peremaja sesuai yang disajikan pada Tabel 2-6, terlihat bahwa makin banyak penambahan bahan peremaja menaikkan nilai penetrasi dan menurunkan nilai titik lembek serta menurunkan nilai viskositas. Penambahan peremaja RejIRE pada aspal Pen 60-70 menaikkan nilai penetrasi yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua peremaja lainnya. Bila memperhatikan perubahan nilai titik lembek maka untuk ketiga peremaja mengalami penurunan yang relatif sama kecuali yang penambahan dengan Oli penurunan nilai titik lembeknya lebih rendah. Begitu juga untuk nilai viskositas kecenderungan penurunannya hampir sama. Berdasarkan hasil pengujian *DSR* pada contoh aspal Pen 60-70 yang telah dicampur dengan masing-masing peremaja dengan proporsi yang sama, seperti disajikan pada Gambar 2-1 (temperatur tinggi kritis benda uji *fresh*) dan Gambar 2-2 (temperatur tinggi kritis benda uji setelah RTFO). Pada Gambar 2-1 dan Gambar 2-2 terlihat bahwa aspal baru dengan ketiga peremaja mengalami penurunan nilai temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$ dari benda uji *fresh* dengan benda uji setelah RTFO. Dari ketiga peremaja yang mengalami penurunan $T_{C(T)}$ adalah relatif kecil, kecuali RejIRE. Pada Gambar 2-3 terlihat bahwa temperatur menengah kritis $\{T_{C(M)}\}$, yaitu benda uji setelah *Pressure Aging Vessel* (PAV), aspal baru dengan peremaja MG mengalami perubahan menjadi paling terendah. Adapun untuk aspal baru dengan peremaja OLI dan RejIRE kecenderungan sama seperti pada temperatur tinggi kritis $\{T_{C(T)}\}$. Berdasarkan Gambar 2-3 maka penggunaan peremaja MG lebih sedikit dibandingkan dengan ketiga peremaja lainnya.



Gambar 2-1. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji *fresh* dengan penambahan variasi *rejuvenile* (Sumber: Nono, 2017)



Gambar 2-2. Hubungan antara temperatur tinggi kritis benda uji setelah *RTFOT* dengan penambahan variasi *rejuvenile* (Sumber: Nono, 2017)



Gambar 2-3. Hubungan antara temperatur menengah kritis benda uji setelah *PAV* dengan penambahan variasi *rejuvenile* (Sumber: Nono, 2017)

2.4. Aplikasi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang di Luar dan Dalam Negeri

Di Eropa, pemanfaatan RAP untuk perkerasan beraspal sudah dilakukan, yaitu sampai dengan tahun 2001 adalah sebanyak 26 negara (EAPA, 2005). Penggunaan RAP di Perancis terus meningkat, yaitu pada tahun 2012 sebanyak 61,9% dari 6,5 juta ton berupa campuran beraspal panas/hangat. Penggunaan RAP untuk lapisan perkerasan beraspal yang dibangun adalah rata-rata sebesar 11,4% (Olard. F dan Pouget. S., 2014). Adapun untuk di Negara bagian di Amerika Serikat, berdasarkan hasil survei yang dilakukan oleh North Carolina Department of Transportation (NCDOT) terhadap 50 negara bagian di Amerika Serikat yang menggunakan RAP sebagai bahan perkerasan jalan diperoleh bahwa ada 23 negara bagian yang sudah berpengalaman dengan penggunaan RAP secara rutin lebih dari 25% (Copeland, 2011). Adapun hasil survei yang dilakukan oleh The National Asphalt Pavement Association (NAPA) pada tahun 2014, diperoleh bahwa jumlah negara bagian di Amerika Serikat yang menggunakan RAP $\geq 20\%$ pada campuran beraspal panas/hangat adalah sebanyak 27 negara bagian. Selain itu, yang menggunakan RAP antara 10% sampai dengan 19% adalah 14 negara bagian, dan yang menggunakan RAP $\leq 9\%$ adalah 9 negara bagian (Hansen & Copeland, 2015).

Berdasarkan NAPA (2015) bahwa daur ulang perkerasan beraspal di Jepang sudah dimulai pada tahun 1970-an. Kementerian Konstruksi Jepang memulai penyelidikan tentang kinerja campuran daur ulang pada awal 1980-an, dan Japan Road Association menerbitkan publikasi pertamanya yang mencakup penggunaan RAP, Buku Pegangan Teknologi Daur Ulang Perkerasan, pada tahun 1984. Pada tahun 1992, studi kinerja lapangan dikonfirmasi bahwa kinerja campuran yang mengandung RAP sama dengan kinerja campuran beraspal dengan bahan yang baru. Dari 213 lokasi perkerasan dengan konten RAP berkisar antara 30% -100%, hanya lima lokasi yang memiliki rasio retak lebih besar dari 10%. Semua lokasi itu berada di jalan raya dengan lalu lintas sangat tinggi. Faktor-faktor yang dianggap sebagai penyebab rasio retak yang lebih tinggi mengarah pada penetapan standar untuk kualitas RAP dan operasi pabrik. Pada tahun 1992, Asosiasi Jalan Jepang mengeluarkan *the Handbook of Plant Recycling of Pavemen,,* panduan teknis pertama untuk daur ulang aspal campuran panas. *The Handbook of Pavement Recycling* pada tahun 2004 dan direvisi pada tahun 2010.

Pada tahun 2013 *The Japan Asphalt Mixture Association* (JAMA) mengeluarkan buku panduan tentang penggunaan dan penanganan RAP untuk pengolah aspal.

Produksi campuran yang mengandung RAP meningkat dari sekitar 2 juta metrik ton (2,2 juta ton) pada tahun 1984 menjadi sekitar 42 juta metrik ton (46 juta ton) pada tahun 2000. Keseluruhan produksi campuran aspal campuran telah menurun sejak awal 1990-an karena faktor ekonomi. resesi di Jepang, tetapi rata-rata konten RAP terus meningkat dari 32,5% pada 2000 hingga 47% pada 2013. Aspal yang digunakan adalah aspal polimer.

Penggunaan RAP di Jepang adalah sekitar 47% pada perkerasan jalan beraspal, dan pada beberapa prefektur (provinsi) menggunakan RAP rata-rata sekitar 50%. Berdasarkan hasil analisis kinerja perkerasan pada ratusan proyek serta hasil eksperimen di laboratorium dan di lapangan, maka penggunaan RAP dengan proporsi tinggi di Jepang telah terbukti memberikan kinerja yang sama dengan campuran beraspal panas yang menggunakan agregat baru (West. R.C., dan Copeland. A., 2015).

3. SPESIFIKASI BAHAN DAN CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG

Dalam melakukan kajian campuran beraspal panas daur ulang diperlukan bahan acuan tentang persyaratan bahan (bahan RAP, agregat baru dan aspal) dan persyaratan campuran. Di bawah ini diuraikan tentang persyaratan-persyaratan tersebut.

3.1. Sifat bahan RAP

Bahan daur ulang beraspal (RAP) harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Bahan daur ulang beraspal harus diperoleh dari hasil pengupasan atau pembongkaran pada perkerasan lama selanjutnya harus diproses pemecahan menggunakan alat pemecah batu (*stone crusher*). Pada pemecahan bahan daur ulang dibagi menjadi 2 fraksi, yaitu fraksi bahan daur ulang kasar (tertahan saringan No. 4) dan fraksi halus lolos saringan No. 4.

Ukuran butir agregat bahan daur ulang beraspal (RAP) hasil pemecah batu (setelah diekstraksi sesuai dengan SNI 03-6894-2002) untuk AC-WC_{RAP}, AC-BC_{RAP} dan AC-Base_{RAP} harus lolos saringan 19,0 mm (3/4 inci), sedangkan untuk LTBA Halus_{-RAP} dan LTBA Kasar_{-RAP} harus lolos saringan 12,5 mm (1/2 inci).

Untuk mengetahui sifat aspal dari bahan daur ulang beraspal (RAP), harus dilakukan pengambilan contoh sesuai SNI 6889:2014 dan dilakukan ekstraksi sesuai SNI 8279:2016 dan hasil pemulihan sesuai SNI 4797:2015. Sifat aspal dari RAP hasil pemulihan dan agregat RAP harus memenuhi persyaratan sesuai Tabel 3-1.

3.2. Aditif Rejuvenile

Aditif rejuvenenile merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk RAP di mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada RAP. Kemampuan senyawa aromatik ringan dari rejuvenile harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada RAP sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru (Qiu dkk., 2013). Rejuvenile merupakan suatu aditif dengan viskositas rendah yang dirancang untuk mengembalikan sifat-sifat RAP-pengikat dan untuk meningkatkan sifat-sifat campuran aspal yang mengandung RAP. Peremajaan ideal tidak hanya

mengembalikan sifat mekanik aspal, tetapi juga mengoreksi komposisi kimia dari aspal usia (Lehtimäki, 2012). Bahan rejuvenile dari senyawa aromatik yang sangat ringan dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah dan deformasi permanen (Lehtimäki, 2012). Sifat bahan peremaja untuk campuran beraspal panas daur ulang harus memenuhi persyaratan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-1. Persyaratan bahan daur ulang beraspal (RAP) hasil ekstraksi dan pemulihan

Karakteristik	Standar uji	Persyaratan
Kadar Aspal, %	SNI 8279:2016	Min. 3,8
Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik, 0,1 mm	SNI 2456:2011	Min. 5
<u>Agregat kasar</u>		
- Partikel pipih dan lonjong (Perbandingan lengan alat uji terhadap poros = 1:5)	SNI 8287:2016	Maks. 10 %
- Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619:2012	95/90 ¹⁾
CATATAN: ¹⁾ 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.		

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

Tabel 3-2. Persyaratan sifat bahan peremaja

Pengujian	Standar uji	Persyaratan
Viskositas Kinematis pada 60°C; cSt	SNI 7729:2011	Maks. 1000
Titik nyala; °C	SNI 2434:2011	Min. 232
Berat Jenis	SNI 2441:2011	Min. 0,90
Pengujian hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002):		
Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2440-1991	Maks. 1,5
Rasio Viskositas	SNI 7729:2011	Maks. 2.0

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

3.3. Spesifikasi Aspal Pen 60-70 dan Sifat Aspal Gabungan

Aspal yang digunakan merupakan aspal keras dan harus memenuhi ketentuan sesuai Tabel 4-3

Tabel 3-3. Persyaratan sifat aspal Pen 60-70

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji	Aspal Pen 60-70
1.	Penetrasi pada 25°C 100 gram, 5 detik (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60--70
2.	Kekentalan kinematis pada temperatur 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	Min. 300
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	Min. 48
4.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	Min. 100
5.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	Min. 232
6.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	SNI 2438:2015	Min. 99
7.	Berat Jenis aspal	SNI 2441:2011	Min. 1,0
10.	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	Maks. 2
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002):			
12.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8
13.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 2456:2011	Min. 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	Min. 50

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

Sifat aspal gabungan merupakan campuran antara aspal RAP dan aspal baru (aspal pen 60-70 dan bahan peremaja). Gabungan antara aspal baru hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002) dan aspal RAP (hasil ekstraksi sesuai SNI 8279:2016 dan hasil pemulihan sesuai SNI 4797:2015). Aspal gabungan dengan cara grafik pencampuran berdasarkan penetrasi aspal harus memenuhi persyaratan sesuai Tabel 3-4.

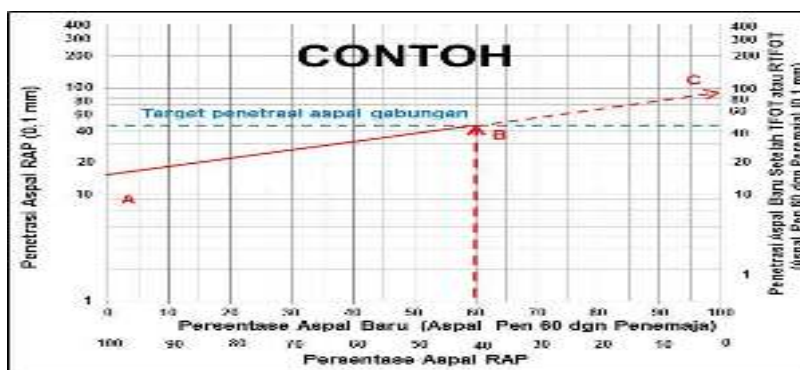
Tabel 3-4. Persyaratan sifat aspal gabungan berdasarkan spesifikasi aspal kelas penetrasi

Jenis Pengujian	Standar Uji	Nilai
Penetrasi aspal gabungan setelah TFOT atau RTFOT pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	40-50

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

Penentuan komposisi aspal baru dengan cara grafik pencampuran (*blending charts*) sesuai spesifikasi penetrasi aspal dengan tahapan sebagai berikut:

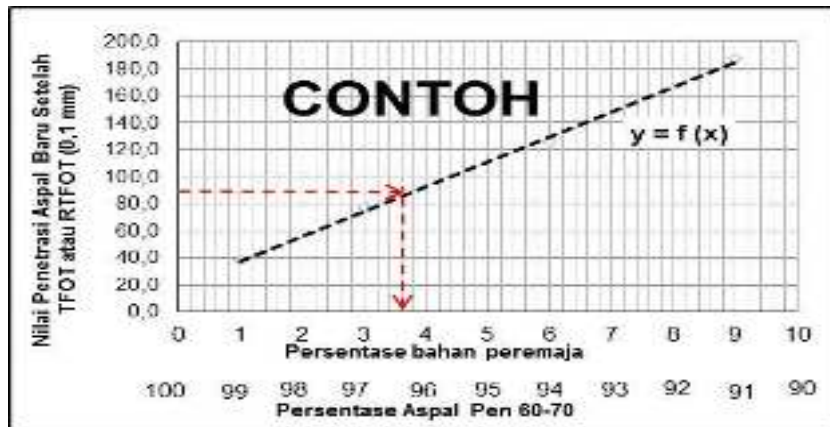
- 1) Setelah RAP hasil pemecah dengan mesin pemecah batu, lakukan ekstraksi sesuai SNI 8279:2016 dan aspalnya dipulihkan sesuai SNI 4797:2015. Selanjutnya lakukan analisa saingan untuk mengetahui gradasi agregat dari RAP dan untuk aspal hasil pemulihan lakukan pengujian penetrasi sesuai pada temperatur 25°C sesuai SNI 2456:2011.
- 2) Buat komposisi proporsi dari masing-masing fraksi agregat baru dan agregat RAP sehingga diperoleh gradasi agregat gabungan (campuran).
- 3) Hitung kadar aspal perkiraan yang diperlukan untuk gradasi agregat campuran yang dirancang sesuai Persamaan 1. Dengan mengetahui proporsi RAP yang akan digunakan maka kadar aspal baru perkiraan dapat diperoleh.
- 4) Tentukan kelas aspal baru yang diperlukan dengan menggunakan grafik pencampuran sesuai kelas penetrasi aspal seperti disajikan pada Gambar 3-1, sedangkan untuk menentukan perbandingan komposisi aspal pen 60-70 dengan bahan peremaja maka nilai penetrasi harus diperoleh dari benda uji setelah kehilangan berat (TFOT atau RTFOT), seperti disajikan pada Gambar 3-2.



Keterangan: Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

- Titik A Penetrasi aspal dari RAP, misal 16 dmm
- ——— Penetrasi aspal gabungan target sesuai Butir 4.1.6.3), misal 45 dmm
- Titik B Perpotongan garis horizontal penetrasi aspal gabungan target dengan komposisi aspal RAP dan aspal baru, misal aspal baru 60% dan aspal RAP = 40%
- Titik C Penetrasi aspal yang baru (campuran aspal pen 60-70 dan bahan peremaja), diperoleh penetrasi aspal baru= 90 dmm

Gambar 3-1. Contoh grafik pencampuran (*blending charts*) sesuai spesifikasi penetrasi aspal



Keterangan: Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

Bila penetrasi aspal baru 90 dmm (sesuai Gambar 3-1) maka diperlukan bahan peremaja 3,9% terhadap berat total aspal baru

Gambar 3-2. Contoh grafik pencampuran penetrasi aspal pen 60-70 setelah dicampur variasi proporsi bahan peremaja benda uji setelah kehilangan berat

- 5) Hitung proporsi masing-masing bahan untuk campuran beraspal panas daur ulang seperti disajikan pada Tabel 3-5 sehingga untuk proporsi atau berat masing-masing bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat diketahui.

Tabel 3-5. Rumus perhitungan proporsi bahan campuran daur ulang

Bahan	Kadar Aspal thd Berat Total Campuran	Kadar Aspal thd Berat Agregat
% Aspal baru, P_{nb}	$\frac{(100^2 - r P_{RAP-b}) P_b}{100 (100 - P_{RAP-b})} - \frac{(100 - r) P_{RAP-b}}{100 - P_{RAP-b}}$	$P_b - \frac{(100 - r) P_{RAP-b}}{100}$
% RAP, P_{RAP}	$\frac{100 (100 - r)}{100 - P_{RAP-b}} - \frac{(100 - r) P_b}{100 - P_{RAP-b}}$	$\frac{(100 + P_{RAP-b}) \times (100 - r)}{100}$
% Agregat baru, P_{ns}	$r - \frac{r P_b}{100}$	r
Total	100	$100 + P_b$
% Aspal baru dan/atau bahan peremaja (<i>recycling agent</i>) terhadap aspal total, R	$\frac{100 P_{nb}}{P_b}$	$\frac{100 P_{nb}}{P_b}$
Keterangan:		
P_{RAP} = persentase campuran bekas dalam campuran daur ulang;		
P_b = kadar aspal dalam campuran daur ulang, %;		
P_{RAP-b} = kadar aspal campuran bekas, %;		
P_{nb} = tambahan aspal da/atau bahan tambah (<i>recycling agent</i>) dalam campuran daur ulang;		
P_{ns} = persentase agregat tambahan (agregat baru atau agregat bekas);		
r = persentase agregat baru dan/atau agregat bekas terhadap agregat total dalam campuran daur ulang		
R = persentase aspal baru dan/atau bahan tambah terhadap berat total aspal dalam campuran daur ulang.		

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

3.4. Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang

Sebagai acuan dalam mengevaluasi sifat campuran beraspal panas daur ulang, baik untuk AC-WC maupun LTBA adalah mengacu Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018), yaitu mencakup:

- Sifat agregat dan aspal keras yang digunakan
- Gradasi agregat untuk campuran beraspal panas daur ulang seperti disajikan pada Tabel 3-5.
- Ketentuan campuran beraspal panas mengacu pada Tabel 3-6.
- Persiapan benda uji untuk pengujian Marshall mengacu pada ASTM D6926-10 dan pengujian parameter Marshall sesuai SNI 2489:2014.

Tabel 3-6. Ketentuan gradasi agregat campuran beraspal panas

Ukuran ayakan	Persen berat lolos terhadap total agregat dalam campuran				
	LTBA _{RAP}		AC _{RAP}		
	Gradasi halus	Gradasi kasar	WC	BC	Base
1 ½ in (37,5 mm)					100
1 in (25 mm)				100	90--100
¾ in (19 mm)			100	90--100	76--90
½ in (12,5 mm)	100	100	90--100	75--90	60--78
3/8 in (9,5 mm)	90--100	90--100	77--90	66--82	52--71
No. 4 (4,75 mm)	68--90	51--90	53--69	46--64	35--54
No. 8 (2,36 mm)	47--67	32--47	33--53	30--49	23--41
No. 16 (1,18 mm)	31--48	18--31	21--40	18--38	13--30
No. 30 (0,6 mm)	19--33	10--20	14--30	12--28	10--22
No. 50 (0,3 mm)	11--22	6--15	9--22	7--20	6--15
No. 100 (0,15 mm)	-	-	6--15	5--13	4--10
No. 200 (0,075 mm)	2--10	2--10	4--10	4--8	3--7

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

Tabel 3-7. Ketentuan campuran beraspal panas

Sifat-sifat campuran	Standar uji	LTBA _{RAP}		AC _{RAP}		
		Gradasi halus	Gradasi kasar	WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang	ASTM D6926-16	75		75		112 ⁽¹⁾
Rasio abu terhadap aspal	AASHTO M323	0,6--1,6		0,6--1,2		
Rongga dalam campuran (VIM), %	AASHTO M323	3,0--5,0 ⁽²⁾		3,0--5,0 ⁽²⁾		
Rongga dalam mineral agregat (VMA), %	AASHTO M323	Min. 15		Min. 14	Min. 13	Min. 12
Rongga terisi aspal (VFB), %	AASHTO M323	Min. 65				
Stabilitas marshall, kg	ASTM D6927-15 dan ASTM D5581-07a	Min. 900		Min. 1000		Min. 2250 ⁽¹⁾
Pelelehan, mm		2,0--4,5		2,0—4,0		3,0 ⁽¹⁾ -- 6,0 ⁽¹⁾
Stabilitas marshall sisa, %		Min. 90				
Stabilitas Dinamis, Lintasan / mm ⁽³⁾	JRA-1980	Min. 2000		Min. 2500		

CATATAN: Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018)

(1) Modifikasi Marshall sesuai ASTM D 5581-07a (diameter benda uji 15 cm).

(2) Rongga dalam campuran (VIM) target berkisar 4%.

(3) Pengujian *Wheel Tracking Machine* (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C dengan beban kontak $(6,4 \pm 0,15)$ kg/cm² dengan kecepatan 21 siklus per menit. Prosedur pengujian harus mengikuti Manual untuk Rancangan dan Pelaksanaan Perkerasan Aspal, JRA Japan Road Association (1980). Dilakukan jika digunakan untuk lalu-lintas rencana lebih dari 10.000.000 CESA.

Untuk mengetahui kinerja campuran beraspal panas daur ulang maka pada umumnya dilakukan pengujian ketahanan deformasi (stabilitas dinamis) seperti pada Tabel 3-7 menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* (WTM) sesuai Gambar 3-3. Selain itu, untuk mengetahui terhadap ketahan lelah pada campuran beraspal panas daur ulang dilakukan juga pengujian kelelahan (fatik) menggunakan alat *Beam Fatigue Apparatus* (BFA) atau *Four Point Bending Apparatus* (Gambar 5-4).

Pengujian *Wheel Tracking Machine* (WTM) merupakan simulasi dari pembebanan roda kendaraan pada lapisan perkerasan beraspal, dimana beban roda bergerak maju mundur melintas diatas benda uji yang dibuat berupa lapisan perkerasan beraspal. Ketahanan suatu campuran perkerasan beraspal terhadap Deformasi Permanen berupa alur (*rutting*), dapat dievaluasi setelah dilalui sejumlah lintasan atau laju deformasi (*rate of deformation*) dalam satuan mm/menit.

Setelah diperoleh dari hasil pengujian Marshall serta analisis volumetrik campuran beraspal panas, baik yang tanpa maupun yang menggunakan RAP dengan menggunakan variasi bahan pengikat, maka khusus untuk campuran beraspal panas yang menggunakan gradasi agregat ditengah-tengah persyaratan, selanjutnya dilakukan

pengujian ketahanan deformasi pada temperature 60°C dengan alat WTM (Gambar 3-3).



Gambar 3-3. Alat *Wheel Tracking Machine* (WTM)

Kelelahan merupakan suatu fenomena timbulnya retak akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang batasnya masih dibawah batas kekuatan material. Pengujian kelelahan dapat menggunakan alat *Beam Fatigue Apparatus* (BFA) atau *Four Point Bending Apparatus* seperti disajikan pada Gambar 3-4.

Konsep pengujian kelelahan dengan pembebanan 4 titik ini, menggunakan kontrol regangan. Dimana besarnya regangan ditentukan terlebih dahulu, kemudian regangan tersebut berusaha dipertahankan dengan menyesuaikan nilai tegangannya. Kondisi dimana nilai modulus kekakuan lentur (*flexural stiffness*) telah berkurang sebesar 50% dari nilai awal, maka kondisi ini dianggap sebagai kondisi *failure*. Pengulangan pembebanan (*cycles*) sampai kondisi *failure* disebut sebagai umur kelelahan. Pengujian kelelahan dilakukan pada temperatur $20\pm1^{\circ}\text{C}$, pada balok-balok dengan 2 (dua) variasi campuran yang berbeda pada nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Tiap variasi campuran diuji pada 3 (tiga) tingkat regangan yang berbeda, yaitu sesuai AASHTO T 321-14 dengan regangan yang direkomendasikan antara 250–750 $\mu\epsilon$. Ketiga tingkatan regangan ini berusaha dipertahankan dengan menyesuaikan nilai tegangan. Makin besar regangan yang berusaha dipertahankan maka makin besar pula tegangan yang terjadi.

Khusus untuk campuran beraspal panas yang tanpa dan yang menggunakan RAP dengan variasi bahan pengikat yang menggunakan gradasi ditengah-tengah persyaratan diperoleh dari hasil pengujian

Marshall serta analisis volumetrik, maka selanjutnya dilakukan pengujian kelelahan digunakan alat *Beam Fatigue Apparatus* (BFA).



Gambar 3-4. Alat *Beam Fatigue Apparatus* (BFA) atau *Four Point Bending Apparatus*

4. SIFAT CAMPURAN BERASPAL PANAS LAPIS PERMUKAAN DAUR ULANG HASIL KAJIAN DI LABORATORIUM DAN DI LAPANGAN

4.1. Sifat Bahan

4.1.1. Sifat RAP

Bahan RAP yang digunakan untuk pengujian campuran beraspal panas lapis permukaan (AC-WC_{RAP}) dan Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA_{RAP}) adalah hasil cold milling dari jalan tol (Tol A dan Tol B) yang diambil oleh PT KADI. RAP eks Tol A digunakan untuk AC-WC_{RAP} dengan ukuran butir maksimum hasil pemecahan adalah 19 mm, sedangkan eks Tol B untuk LTBA_{RAP} dengan ukuran butir maksimum sebesar 12,5 mm.

Sifat RAP tersebut seperti disajikan pada Tabel 4-1. Adapun sifat dan gradasi agregat dari RAP disajikan pada Tabel 4-2.

Tabel 4-1. Sifat aspal dari RAP

No	Pengujian	Metode	Sifat Aspal RAP	
			Eks Tol A	Eks Tol B
1	Kadar aspal; %	RSNI M-05-2004	3,8	4,1
2	Kadar air; %	SNI 2490-2008	5,0	2,1
3	Penetrasi pada 100 gram, 25°C; 0,1 mm	SNI 2456 : 2011	8,0	9,0
4	Titik lembek; °C	SNI 2434 : 2011	79,6	74,5
5	Daktilitas; cm	SNI 2432 : 2011	1,2	4,5
6	Berat jenis	SNI 2441 : 2011	1,065	1,072
7	Viskositas absolut pada 60°C; Pa.s	SNI 03-6440-2000	*)	21.186

Catatan: *) Viskositas absolut tidak bisa diuji

Tabel 4-2. Sifat dan gradasi agregat dari RAP

No.	Pengujian	Sifat Agregat RAP			
		Eks Tol A		Eks Tol B	
		Kasar	Halus	Kasar	Halus
1	Abrasi; %				
2	Berat Jenis				
	- Bulk	2,62	2,62	2,58	2,59
	- SSD	2,66	2,66	2,64	2,65
	- Aparent	2,73	2,74	2,74	2,77

Tabel 4-2. Sifat dan gradasi agregat dari RAP (lanjutan)

No.	Pengujian	Sifat Agregat RAP			
		Eks Tol A		Eks Tol B	
		Kasar	Halus	Kasar	Halus
3	Ukuran butir agregat; % berat lolos				
	¾ in	100,0		100	
	½ in	98,5		100	
	3/8 in	92,3		92,7	
	# 4	71,2		69,8	
	# 8	51,1		50,2	
	# 16	38,1		37,2	
	# 30	29,6		28,7	
	# 50	22,5		21,9	
	# 100	17,0		16,0	
	# 200	12,8		11,2	

4.1.2. Sifat agregat baru

Adapun sifat agregat baru yang digunakan bersumber dari hasil pemecah baru dari PT KADI, yaitu memiliki sifat seperti disajikan pada Tabel 4-3. Sifat agregat baru memenuhi persyaratan.

Tabel 4-3. Sifat agregat baru

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat		
		Kasar	Sedang	Halus
1	Abrasi; %	16,59		
2	Berat Jenis			
	- Bulk	2,64	2,62	2,62
	- SSD	2,69	2,68	2,67
	- Aparent	2,77	2,77	2,75
	Penyerapan; %	1,74	2,04	1,79
3	Setara Pasir; %			61,46
4	Anggularitas; %	100/100	100/100	44,35
5	Kelekatan; %	95,0		
6	Pipih dan Lonjong; %	0,0		
7	Pelapukan; %	0,24	0,09	1,09
8	Lolos # 200; %			
9	Gumpalan Lempung;	1,61	0,00	0,04

Tabel 4-3. Sifat agregat baru (lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat		
		Kasar	Sedang	Halus
10	Ukuran butir agregat; % berat lolos			
	¾ in	100,0		
	½ in	88,0	100,0	
	3/8 in	61,1	99,5	100,0
	# 4	13,3	15,5	83,7
	# 8	8,9	3,0	46,2
	# 16	7,2	2,7	30,3
	# 30	6,1	2,5	22,6
	# 50	5,2	2,3	17,6
	# 100	4,2	2,1	13,7
	# 200	3,3	1,7	10,5

4.1.3. Sifat aspal

Aspal yang digunakan diperoleh dari pasaran, yaitu Aspal Pen 60-70 dengan sifat-sifat seperti disajikan pada Tabel 4-4. Aspal Pen 60-70 memiliki sifat fisik memenuhi persyaratan.

Tabel 4-4. Sifat Aspal Pen 60-70

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
1	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm	63	60-70
2	Viskositas absolut pada 60°C; Pa.s	234	160-240
3	Viskositas kinematis pada 135°C; cSt	-	≥ 300
4	Titik lembek; °C	49,2	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit; cm	> 140	≥ 100
6	Titik nyala (COC); °C	324	≥ 232
7	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ ; %	99,3	≥ 99
8	Berat jenis	1,038	≥ 1,0
Pengujian Residu Hasil TFOT pada 163°C, 5 jam			
9	Kehilangan berat (TFOT); %	0,006	≤ 0,8
10	Viskositas absolut pada 60°C; Pa.s	297,7	≤ 800
11	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; %	42	≥ 54
12	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit; cm	> 140	≥ 100
13	Titik lembek LOH; °C	51,4	-
14	Perkiraan suhu pencampuran; °C	150-156	-
15	Perkiraan suhu pemadatan; °C	138-144	-

4.1.4. Sifat bahan peremaja (rejuvenile)

Bahan peremaja yang digunakan memiliki sifat fisik seperti disajikan pada Tabel 4-5. Dengan membandingkan dengan Tabel 2-3 maka sifat bahan peremaja yang digunakan lebih encer namun tidak peka terhadap temperatur yang ditunjukkan dengan nilai rasio viskositas dan perubahan berat yang lebih rendah. Dengan semakin encer dan tidak peka terhadap temperature tinggi maka diharapkan penggunaannya lebih sedikit dibandingkan bila menggunakan yang lebih kental.

Tabel 4-5. Sifat bahan peremaja

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian		
		1	2	Rata-rata
1	Viskositas absolut pada 60°C	*)	*)	*)
2	Viskositas Kinematis pada 60°C dengan Saybolt Furol, cSt	34,9	37,0	36,0
3	Titik Nyala, °C	267	266	267
4	Kehilangan Berat (TFOT)	0,794	0,696	0,745
5	Viskositas 60°C dengan Saybolt Furol setelah LOH, cSt	41,2	41,2	41,2
6	Rasio Viskositas	1,18	1,11	1,15
7	Berat Jenis	0,941	0,946	0,943

Catatan: *) Viskositas absolut tidak bisa diuji

4.2. Penentuan Proporsi Penggunaan RAP dan Bahan Peremaja

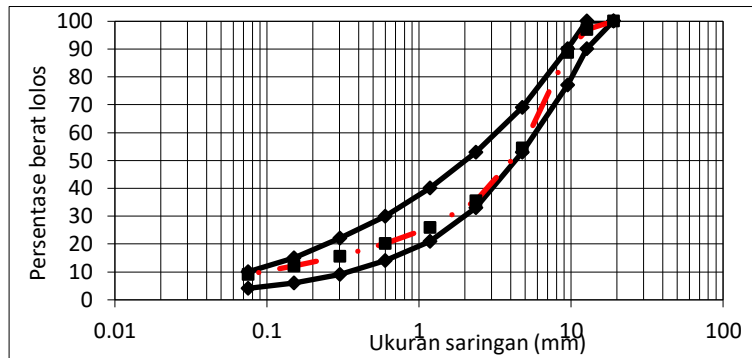
4.2.1. Proporsi penggunaan RAP dan bahan peremaja untuk ACWC Daur Ulang

a) Penentuan proporsi RAP

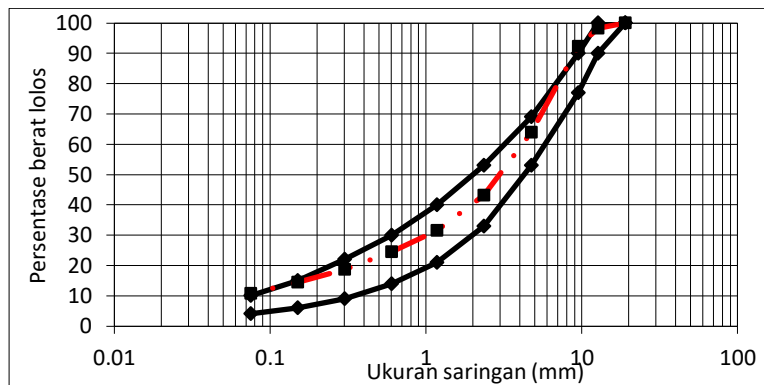
Sesuai hasil ekstrasi terhadap RAP eks Tol A (Tabel 4-3), untuk pemanfaatan komposisi agregat RAP sebanyak 50% dan 70% terhadap berat total agregat maka fraksi agregat baru yang diperlukan disajikan pada Tabel 4-6. Gradasi agregat campuran yang diperoleh seperti disajikan pada Gambar 4-1 (50% agregat RAP) dan pada Gambar 4-2 (70% agregat RAP), sedangkan kadar aspal total perkiraan sebesar 5,8% untuk penggunaan 50% agregat RAP dan 6,1% untuk penggunaan 70% agregat RAP).

Tabel 4-6. Proporsi bahan ACWC untuk proporsi RAP sudah diketahui

50% agregat RAP	70% agregat RAP
Agregat Baru	
- Agregat Kasar = 19,0%	- Agregat Kasar = 6,0%
- Agregat Sedang = 14,0%	- Agregat Sedang = 10,0%
- Agregat Halus = 17,0%	- Agregat Halus = 14,0%
Kadar Aspal Perkiraan (Pb)	
- 5,8%	- 6,1%



Gambar 4-1. Gradasi agregat stockpile gabungan ACWC dengan 50% agregat RAP



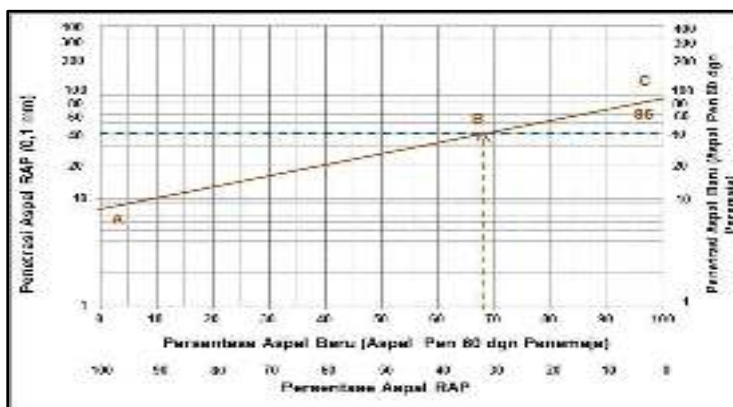
Gambar 4-2. Gradasi agregat stockpile gabungan ACWC dengan 70% agregat RAP

b) Penentuan proporsi bahan untuk ACWC daur ulang

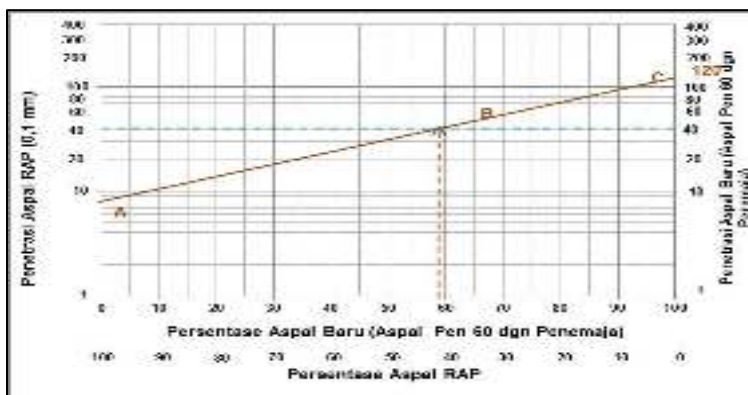
Sesuai metoda NAPA (2015) pada Butir 3.3 Gambar 3-1, dengan proporsi agregat RAP sebanyak 50% dan penetrasi aspal RAP = 8 dmm dengan target penetrasi aspal baru (aspal Pen 60 dicampur bahan peremaja) setelah TFOT sebesar 40 dmm, maka berdasarkan data tersebut, diperoleh penetrasi aspal baru sebesar 85 dmm untuk

penetrasi target 40 dmm setelah TFOT (lihat Gambar 4-3) dengan komposisi aspal RAP 32% dan 68% aspal baru.

Adapun untuk proporsi agregat RAP sebanyak 70% dan penetrasi aspal RAP 8 dmm dengan target penetrasi aspal baru (aspal Pen 60 dicampur bahan peremaja) setelah TFOT 40 dmm. Berdasarkan data tersebut, diperoleh untuk penetrasi target setelah TFOT sebesar 40 dmm maka penetrasi aspal baru sebesar 120 dmm (lihat Gambar 4-4) dengan komposisi aspal RAP 42% dan 58% aspal baru.

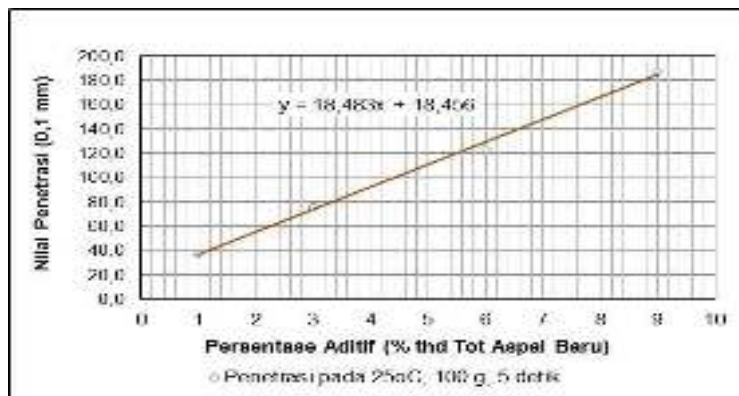


Gambar 4-3. Proporsi aspal baru untuk target penetrasi aspal gabungan dengan 40 dmm setelah TFOT untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 50% untuk ACWC



Gambar 4-4. Proporsi aspal baru untuk target penetrasi aspal gabungan dengan 40 dmm setelah TFOT untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 70% untuk ACWC

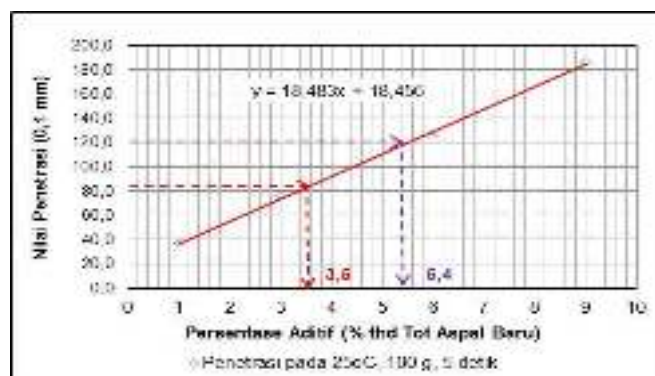
Sifat aspal baru sesuai hasil pencampuran antara aspal Pen 60-70 dengan bahan peremaja seperti disajikan pada Gambar 4-5 (untuk nilai penetrasi kondisi aspal setelah FOT).



Gambar 4-5. Nilai penetrasi aspal baru setelah TFOT pengaruh penambahan peremaja

Berdasarkan berdasarkan proporsi RAP, nilai penetrasi aspal RAP, kadar aspal perkiraan (Pb), sifat aspal Pen 60-70, sifat bahan peremaja dan target nilai penetrasi aspal baru setelah TFOT maka diperoleh (lihat Gambar 4-6):

- (1) Untuk penggunaan 50% agregat RAP dengan target penetrasi aspal baru setelah TFOT (*short aging*) sebesar 40 dmm, proporsi bahan peremaja yang diperlukan adalah sebanyak 3,5% terhadap berat total aspal baru.
- (2) Untuk penggunaan 70% agregat RAP dengan target penetrasi aspal baru setelah TFOT (*short aging*) sebesar 40 dmm, proporsi bahan peremaja yang diperlukan adalah sebanyak 3,5% terhadap berat total aspal baru.



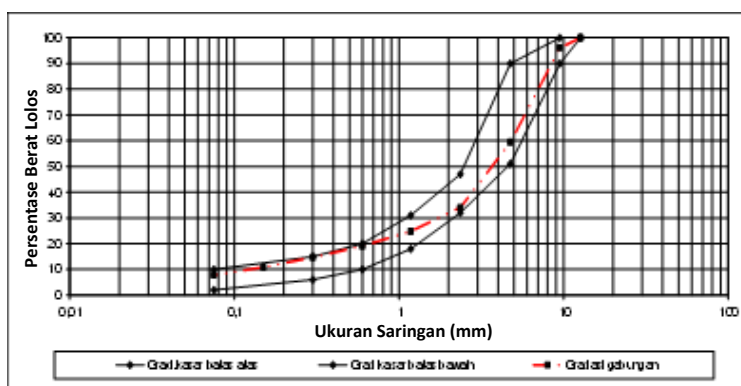
Gambar 4-6. Proporsi bahan peremaja untuk penetrasi aspal baru setelah TFOT untuk penggunaan 50% dan 70% agregat RAP dan untuk ACWC

4.2.2. Proporsi penggunaan RAP dan bahan peremaja untuk LTBA Daur Ulang

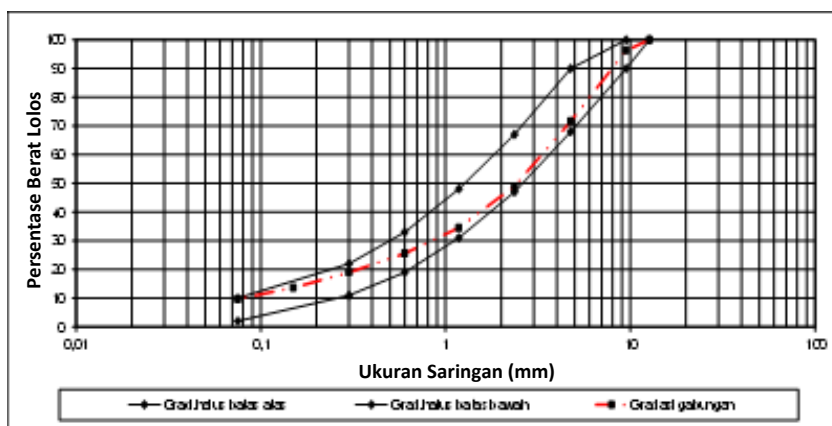
Berdasarkan hasil pengujian sifat-sifat fisik agregat, aspal maupun RAP eks Tol B di laboratorium, maka dibuat campuran rancangan untuk gradasi agregat gabungan stockpile dengan proporsi seperti ditunjukkan pada Tabel 4-7, Gambar 4-7 dan Gambar 4-8.

Tabel 4-7. Proporsi bahan agregat stockpile dan RAP Cipularang

	Proporsi	
	LTBA _{RAP} Kasar	LTBA _{RAP} Halus
1. Agregat Sedang	42,0%	22,0%
2. Agregat Halus	8,0%	28,0%
3. RAP	50,0%	50,0%
4. Kadar Aspal Perkiraan (Pb)	6,40%	6,80%



Gambar 4-7. Gradasi agregat stockpile gabungan LTBA_{RAP} kasar eks Tol B



Gambar 4-8. Gradasi agregat stockpile gabungan LTBA_{RAP} halus eks Tol B

Sesuai metoda NAPA (2015) pada Butir 3.3 Gambar 3-1 atau sesuai cara atau tahapan yang sama seperti untuk campuran AC-WC, dengan proporsi agregat RAP sebanyak 50% (untuk gradasi kasar dan halus) dan penetrasi aspal RAP = 9 dmm dengan target penetrasi aspal baru (aspal Pen 60 dicampur bahan peremaja) setelah TFOT sebesar 45 dmm, maka berdasarkan data tersebut, diperoleh penetrasi aspal baru dan komposisi aspal RAP dan aspal baru, yaitu:

- (1) Untuk penggunaan 50% agregat RAP untuk LTBA gradasi kasar dengan target penetrasi aspal baru setelah TFOT (*short aging*) sebesar 45 dmm, proporsi bahan peremaja yang diperlukan adalah sebanyak 2,6% terhadap berat total aspal baru.
- (2) Untuk penggunaan 50% agregat RAP untuk LTBA gradasi halus dengan target penetrasi aspal baru setelah TFOT (*short aging*) sebesar 45 dmm, proporsi bahan peremaja yang diperlukan adalah sebanyak 2,7% terhadap berat total aspal baru.

4.3. Sifat Campuran Beraspal Panas Daur Ulang

4.3.1. Volumetrik, parameter marhall dan ketahanan deformasi campuran beraspal panas daur ulang

Untuk mendapatkan parameter Marshall dan volumetrik campuran beraspal panas, baik untuk AC-WC_{RAP} maupun LTBA_{RAP}, maka proses pembuatan benda uji RAP dipanaskan 145°C dan agregat baru dipanaskan sekitar 160°C sehingga temperatur pencampuran dalam rentang temperatur pencampuran aspal baru. Agregat yang digunakan dalam kajian di laboratorium berasal dari *stockpile*. Adapun sifat campuran AC-WC_{RAP} dengan menggunakan 50% dan 70% RAP seperti disajikan pada Tabel 4-8, sedangkan sifat campuran LTBA_{RAP} disajikan pada Tabel 4-9. Nilai stabilitas dinamis dan stabilitas Marshall, baik untuk AC-WC_{RAP} maupun LTBA_{RAP}, disajikan pada Gambar 4-9.

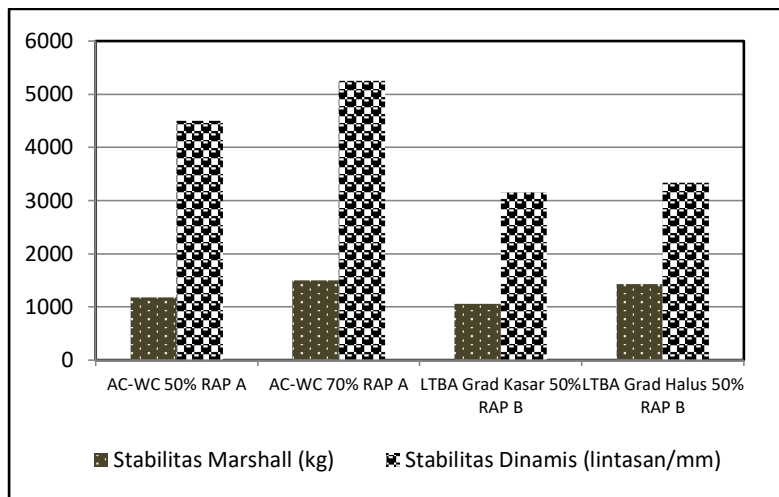
Sifat campuran beraspal panas daur ulang, baik AC-WC dengan 50 dan 70% RAP maupun LTBA Kasar dan halus dengan 50% RAP memenuhi persyaratan. Memperhatikan data Stabilitas Marshall, maka yang memiliki nilai stabilitas tertinggi adalah berturut-turut campuran AC-WC 70% RAP, LTBA Halus 50% RAP, AC-WC 50% RAP dan LTBA Kasar 50% RAP. Namun untuk stabilitas dinamis untuk campuran AC-WC_{RAP} lebih tinggi dari pada LTBA_{RAP}. Hal demikian dapat dipahami bahwa campuran ACWC memiliki ukuran agregat maksimum ¾ in sedangkan LTBA hanya ½ in.

Tabel 4-8. Sifat campuran ACWC dengan menggunakan 50% dan 70% agregat RAP eks Tol A

Parameter Uji	Hasil Pengujian		Persyaratan AC-WC Mod
	AC-WC 50% RAP A	AC-WC 70% RAP A	
1. Kadar Aspal optimum (%)	5,7	5,9	
- Aspal RAP (%)	1,86	2,6	
- Aspal Pen 60-70 (%)	3,70	3,12	
- Peremaja (%)	0,14	0,18	
2. Kepadatan (ton/m ³)	2,29	2,35	Min. 65
3. Rongga terisi aspal (VFB), %	72,24	71,75	
4. Rongga dalam campuran (VIM), %	4,91	4,48	3 – 5
5. Rongga dalam mineral agregat (VMA), %	17,66	15,80	Min. 15
6. Stabilitas Marshall, kg	1180	1502	1.000
7. Pelelehan, mm	3,97	3,72	2 – 4
8. Stabilitas marshall sisa, %	90,9	91,8	Min. 90
9. Stabilitas Dinamis, lint/mm	4500	5250	Min. 2500

Tabel 4-9. Sifat campuran LTBA_{RAP} dengan menggunakan 50% agregat RAP eks Tol B

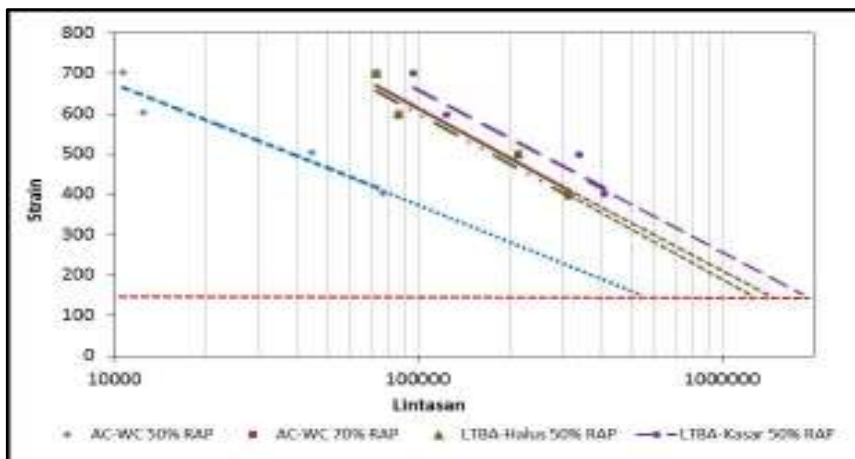
Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian		Persyaratan LTBA
	LTBA Grad Kasar 50% RAP B	LTBA Grad Halus 50% RAP B	
1. Kadar aspal optimum, %	6,85	6,75	-
- Aspal RAP (%)	1,92	1,92	
- Aspal Pen 60-70 (%)	4,76	4,65	
- Peremaja (%)	0,17	0,18	
2. Kepadatan (ton/m ³)	2,29	2,32	-
3. Rongga terisi aspal (VFB), %	79,56	77,73	Min. 65
4. Rongga dalam campuran (VIM), %	3,82	4,00	3,0 - 5,0
5. Rongga dalam mineral agregat (VMA), %	18,68	17,95	Min. 15
6. Stabilitas Marshall, kg	1059	1425	Min. 900
7. Pelelehan, mm	3,96	3,59	2,0 - 4,5
8. Stabilitas marshall sisa, %	90,1	91,4	Min. 90
9. Stabilitas dinamis, lintasan/mm	3150	3338	Min. 2000



Gambar 4-9. Stabilitas Marshall dan ketahanan deformasi campuran ACWC dan LTBA daur ulang

4.3.2. Ketahanan fatik campuran beraspal panas daur ulang

Hasil pengujian fatik untuk campuran beraspal panas, baik untuk AC-WC dengan 50% dan 70% RAP eks Tol A maupun LTBA dengan 50% RAP eks Tol B, maka seperti disajikan pada Gambar 4-10. Pada Gambar 4-10 terlihat bahwa ketahanan fatik campuran AC-WC dengan 50% RAP eks Tol A adalah paling rendah, sedangkan ketahanan fatik untuk campuran AC-WC dengan 70% RAP eks Tol A dan LTBA Halus dengan 50% RAP eks Tol B memiliki ketahanan fatik relatif sama. Memperhatikan ketahanan terhadap fatik antara $AC-WC_{RAP}$ dan $LTBA_{RAP}$ maka pada umumnya $LTBA_{RAP}$ yang lebih baik, hal demikian pengarus dari butiran agregat yang digunakan dengan ukuran maksimum lebih kecil dan kadar aspal optimumnya lebih tinggi sehingga lebih tahan terhadap retak (fatik). Namun bila memperhatikan dari ke empat campuran tersebut maka pada Gambar 4-10 terlihat bahwa yang paling tahan terhadap fatik adalah untuk LTBA Gradasi Kasar dengan 50% RAP eks Tol B.



Gambar 4-10. Ketahanan campuran ACWC menggunakan 50% dan 70% RAP eks Tol A terhadap fatik

5. PELAKSANAAN UJI COBA CAMPURAN BERASPAL PANAS DAUR ULANG DI LAPANGAN

5.1. Data Lokasi, Kondisi Perkerasan Eksisting dan Persiapan Produksi Campuran Beraspal

5.1.1. Data lokasi dan kondisi perkerasan eksisting

a) Data lokasi dan kondisi Perkerasan Eksisting Uji Coba Campuran AC-WC_{RAP}

Lokasi uji coba yang dipilih pada ruas jalan Karawang-Cikampek arah Jakarta, yaitu STA 88+950 s.d STA 89+300 yang terdiri dari 2 lajur per arah. Lapis permukaan perkerasan eksisting berupa lapisan beraspal dengan kondisi permukaan sesuai hasil pengamatan visual di lapangan seperti disajikan pada Tabel 5-1 dan Gambar 5-1. Pada Tabel 5-1 dan Gambar 5-1, pada umumnya permukaan perkerasan eksisting mengalami pelepasan butir bahkan ada yang sudah terjadi retak-retak, terutama pada lajur cepat.

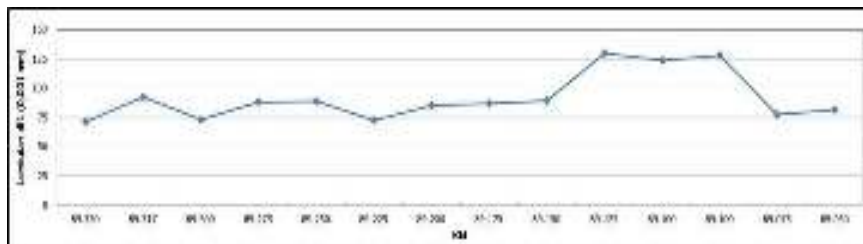
Hasil pengujian kekuatan struktur perkerasan yang dilakukan pengujian dengan alat FWD maka diperoleh bahwa struktur perkerasan eksisting masih memiliki kekuatan struktur yang sangat baik. Yaitu yang dicerminkan dengan data lendutan umunya masih di bawah 200 mm (lihat Gambar 5-2).

Tabel 5-1. Kondisi permukaan perkerasan eksisting ruas jalan untuk uji coba ACWC daur ulang

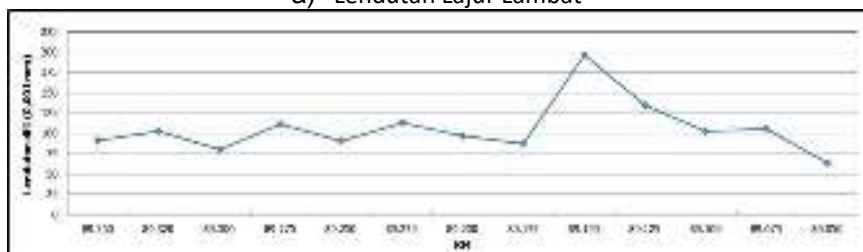
Kerusakan	Sebelum Penghamparan	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat
Retak (m ²)	2,5	150,0
Tambalan (m ²)	9,0	71,5
Lubang (m ²)	0,9	1,0
Ambblas (m ²)	0	0
Pel.butir (m ²)	805	65,3
Def.plastis (m ²)	-	1,0



Gambar 5-1. Gambaran kondisi permukaan perkerasan eksisting untuk uji coba ACWC daur ulang



a) Lendutan Lajur Lambat

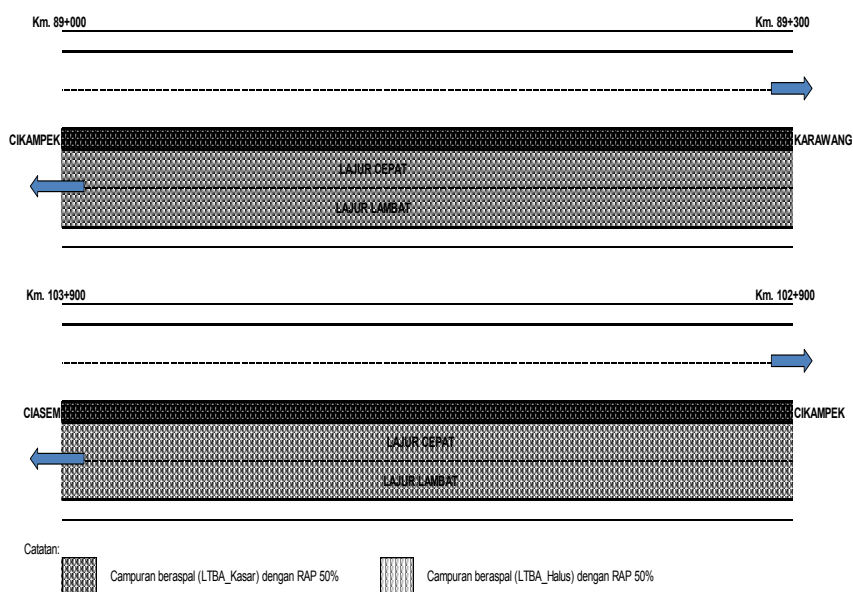


b) Lendutan Lajur Cepat

Gambar 5-2. Gambaran kondisi struktur perkerasan eksisting untuk uji coba ACWC daur ulang

b) Data lokasi dan kondisi Perkerasan Eksisting Uji Coba Campuran LTBA_{RAP}

Aplikasi penerapan teknologi lapis tipis hotmix aspal RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) atau LTBA_{RAP} terdiri dari 2 tipe gradasi, yaitu gradasi kasar dan gradasi halus. Lokasi aplikasi uji coba adalah pada ruas jalan Karawang-Cikampek Km. 88+300 s/d Km. 89+000 arah Cikampek dan ruas jalan Cikampek-Ciasem Km. 102+900 s/d Km. 103+900 arah Cirebon. Kedua ruas jalan tersebut terdiri dari 4 lajur 2 arah dengan pembatas median sebagaimana terlihat pada Gambar 5-3.



Gambar 5-3. Lokasi ruas jalan Karawang-Cikampek dan Cikampek-Ciasem

Permukaan perkerasan pada kedua ruas jalan pada ruas jalan Karawang-Cikampek Km. 88+300 s/d Km. 89+000 arah Cikampek dan ruas jalan Cikampek-Ciasem Km. 102+900 s/d Km. 103+900 arah Cirebon tersebut umumnya sudah mengalami kerusakan yaitu terutama pelepasan butir dan terjadi retak-retak serta tambalan sebagaimana terlihat pada Tabel 5-2 dan Gambar 5-4.

Tabel 5-2. Kondisi permukaan perkerasan eksisting untuk uji coba
LTBA daur ulang

Jenis Kerusakan	Ruas Karawan-Cikampek (Km. 88+300 s/d Km. 89+000 arah Cikampek)				Ruas Cikampek-Ciasem (Km. 102+900 s/d Km. 103+900 arah Cirebon)			
	Lajur Lambat		Lajur Cepat		Lajur Lambat		Lajur Cepat	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%
1. Retak	4,0	0,1	29,0	0,8	41,6	1,2	23,8	0,7
2. Tamblan	222,5	6,4	235,3	6,7	36,0	1,0	383,8	11,0
3. Lubang	0,8	0,0	0,6	0,0	-	-	0,1	0,0
4. Ambblas	-	-	2,5	0,1	-	-	-	-
5. Pelepasan Butir	2.990,0	85,4	1.865,0	53,3	3.045,0	87,0	514,0	14,7
6. Deformasi Plastis	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Retak Refleksi	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Pumping	-	-	-	-	-	-	-	-



a. Ruas jalan Karawang-Cikampek



b. Ruas jalan Cikampek-Ciasem

Gambar 5-4. Kondisi permukaan perkerasan untuk uji coba
LTBA daur ulang

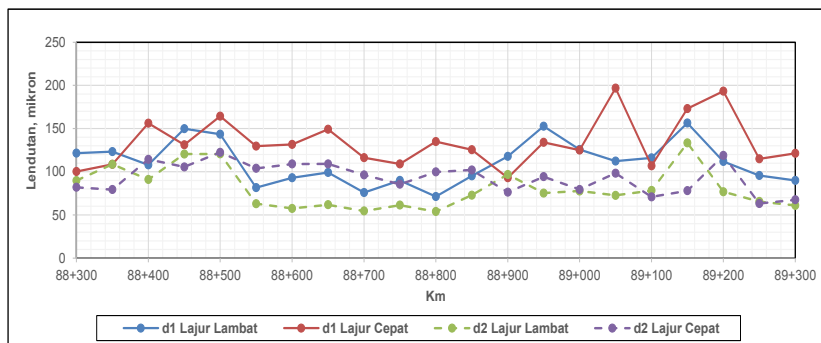
Tabel 5-3. Kedalaman alur perkerasan eksisting untuk uji coba LTBA daur ulang

Ruas/Lajur	Kedalaman alur, mm		
	Maks	Min	Rata-rata
1. Ruas Karawang-Cikampek			
- Lajur Lambat	10,0	2,0	3,5
- Lajur Cepat	20,0	3,0	5,7
2. Ruas Cikampek-Ciasem			
- Lajur Lambat	3,0	3,0	3,0
- Lajur Cepat	20,0	3,0	5,0

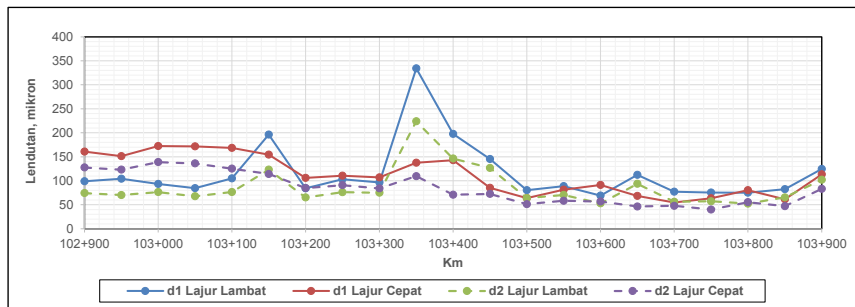
Pengujian lendutan yang dilakukan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) pada kedua lajur untuk mengetahui kekuatan struktur perkerasan yang ada. Berdasarkan hasil pengukuran kekuatan struktur perkerasan yang ada masih memiliki kekuatan yang sangat baik dimana data lendutan untuk kedua ruas jalan tersebut umumnya masih relatif kecil. Nilai lendutan untuk kedua ruas jalan tersebut ditunjukkan pada Tabel 5-4, Gambar 5-5 dan 5-6.

Tabel 5-4. Lendutan perkerasan jalan eksisting untuk uji coba LTBA daur ulang

Ruas/Lajur	Lendutan, mikron			
	Maks	Min	Rata-rata	d ₀ -d ₂₀₀
1. Ruas Karawang-Cikampek				
- Lajur Lambat	157	71	111	30
- Lajur Cepat	197	93	134	41
2. Ruas Cikampek-Ciasem				
- Lajur Lambat	334	69	116	29
- Lajur Cepat	172	55	112	28



Gambar 5-5. Lendutan df1 dan df2 ruas jalan Karawang-Cikampek



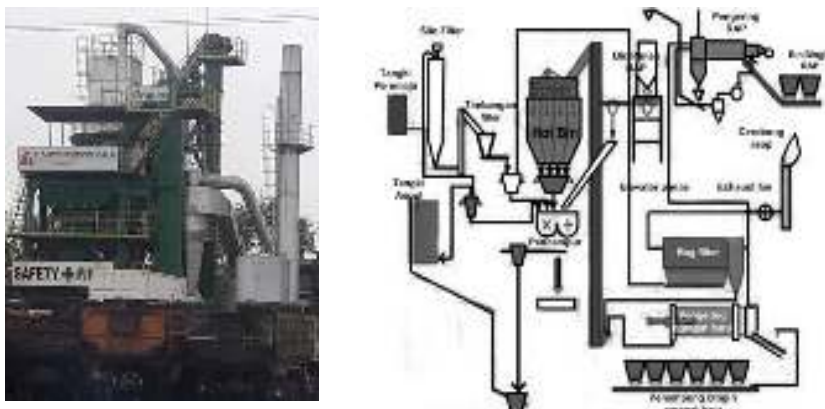
Gambar 5-6. Lendutan df1 dan df2 ruas jalan Cikampek-Ciasem

Pada Tabel 5-4, Gambar 5-5 dan 5-6 terlihat bahwa struktur perkerasan eksisting pada kedua lokasi uji coba tersebut masih mempunyai kekuatan yang besar dengan, yaitu ditunjukkan dengan nilai lendutan yang kecil dengan nilai d_0 - d_{200} tertinggi sebesar 41 micron (<120 mikron).

Berdasarkan data kondisi visual, kedalaman alur dan data lendutan maka untuk penanganan kedua lokasi tersebut dengan meakukan preservasi menggunakan teknologi Lapis Tipis Beton Aspal RAP (LTBA_{RAP}) dengan tebal minimum 3,0 cm.

5.1.2. Persiapan produksi campuran beraspal daur ulang

Dalam rangka melakukan uji coba di lapangan, alat pencampur yang digunakan adalah AMP milik PT KADI International di Karawang, seperti disajikan pada Gambar 5-7.



Gambar 5-7. AMP yang digunakan

Bahan untuk campuran beraspal panas daur ulang, yaitu agregat, aspal, dan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) adalah bekas garukan dari jalan tol yang sudah tersedia di PT. Kadi International seperti disajikan pada Gambar 5-8.



a. Agregat kasar (split)



b. Agregat sedang (screen)



c. Agregat halus (abu batu)



d. Agregat baru keluar dari mesin pemecah



e. RAP hasil garukan



f. RAP hasil garukan



g. RAP hasil garukan



h. RAP yang telah di pecah

Gambar 5-8. *Stockpile material*

Sebelum melaksanakan produksi untuk uji coba di lapangan, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan AMP dan pengaturan *Cold Bin* dan dari

Hot Bin diambil contoh, termasuk untuk RAP. Selanjutnya melakukan penyaringan untuk membuat komposisi agregat setiap *Hot Bin*. Selanjutnya harus melakukan percobaan pancampuran di AMP (*Trial Mix*) dimaksudkan untuk mencoba mengaplikasikan rancangan campuran kerja yang telah dibuat sebelumnya, sehingga waktu pencampuran antara agregat baru, RAP, aspal dan bahan peremaja bercampur secara homogen. Lama waktu pencampuran yang dilakukan di UPCA berkisar antara 40 sampai dengan 45 detik dengan temperatur pencampuran antara 155°C sampai dengan 165°C (sesuai nilai viskositas campuran bahan pengikat (aspal, aspal RAP dan Peremaja).



a. Agregat dari Hot Bin



b. Agregat dari Hot Bin



c. Ruang operasi pengaturan UPCA



d. Seting proporsi bahan



e. Hasil trial mix campuran



f. Hasil trial mix gradasi halus

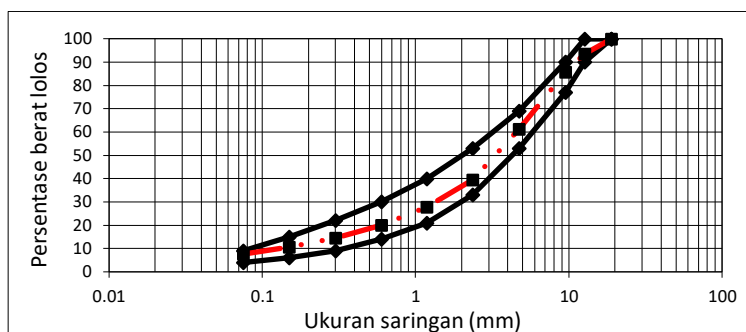
Gambar 5-9. Hasil dari percobaan campuran

5.2. Hasil Uji Coba Campuran ACWC Daur Ulang

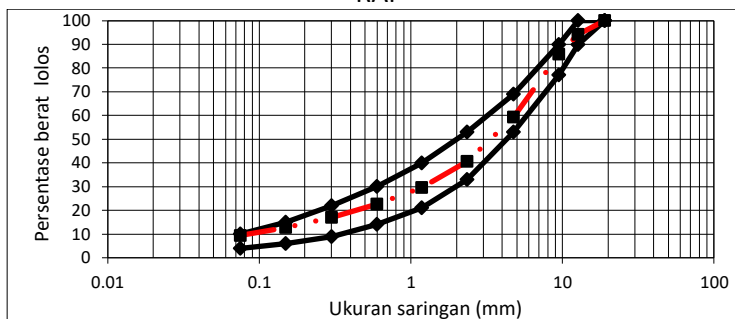
Hasil blending agregat dari Hot Bin dengan proporsi agregat RAP 50% dan 70% maka diperoleh proporsi agregat pada setiap Hot Bin, yaitu seperti disajikan pada Tabel 5-5. Gradasi untuk masing-masing komposisi seperti disajikan pada Gambar 5-10 (untuk penggunaan 50% agregat RAP) dan untuk penggunaan 70% agregat RAP disajikan pada Gambar 5-11.

Tabel 5-5. Proporsi agregat dari Hot Bin

Jenis Bahan	Proporsi bahan	
Agregat		
Agregat RAP	50,0%	70,0%
Hot Bin IV	12,0%	10,0%
Hot Bin III	10,0%	10,0%
Hot Bin II	13,0%	5,0%
Hot Bin I	15,0%	5,0%
Aspal Perkiraan (Pb)	5,9%	6,0%



Gambar 5-10. Gradasi agregat baru dari Hot Bin dengan 50% agregat RAP



Gambar 5-11. Gradasi agregat baru dari Hot Bin dengan 70% agregat RAP

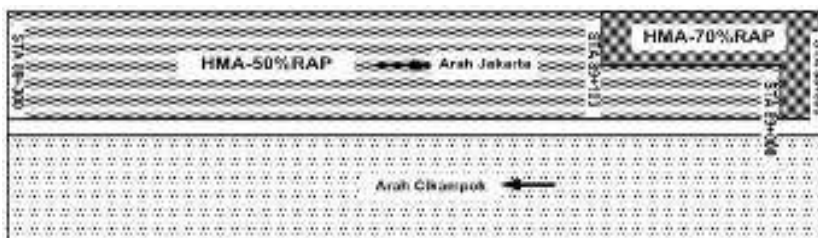
Dengan komposisi agregat dari Hot Bin untuk proporsi agregat RAP 50% dan 70% dengan menggunakan aspal yang ada di PT KADI maka aspal baru diperlukan disajikan pada Gambar 5-12 (untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 50%) dan Gambar 5-13 (untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 70%), sedangkan proporsi peremaja yang diperlukan untuk penggunaan agregat RAP 50% dan 70% disajikan pada Gambar 5-14.

Berdasarkan data pada Gambar 3-1 dan Gambar 3-2 dan Tabel 3-5 atau Gambar 4-3 sampai dengan Gambar 4-6, maka untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 50% diperoleh nilai penetrasi aspal baru setelah TFOT minimum sebesar 80 dmm dan proporsi bahan peremaja sebanyak 3,2% terhadap berat total aspal baru. Untuk penggunaan agregat RAP sebanyak 70% diperoleh nilai penetrasi aspal baru setelah TFOT minimum sebesar 120 dmm dan proporsi bahan peremaja sebanyak 5,6% terhadap berat total aspal baru.

Sesuai komposisi bahan, yaitu agregat baru, aspal Pen 60-70 dan peremaja maka sifat campuran beraspal panas untuk kedua komposisi RAP yang digunakan disajikan pada Tabel 5-6.

Sifat campuran beraspal panas dengan 50% RAP dan 70% RAP seperti pada Tabel 5-12 memenuhi persyaratan. Penambahan RAP semakin tinggi dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall cukup tinggi.

Selanjutnya melakukan trial mix untuk menentukan waktu pencampuran, baik waktu pencampuran agregat baru dengan RAP maupun dengan aspal dan peremaja. Hasil trial mix diperoleh bahwa waktu pencampuran agregat dengan RAP, baik yang 50% maupun yang 70% adalah sekitar 5 detik, sedangkan untuk pencampuran antara agregat & 50% RAP dengan aspal dan peremaja adalah sekitar 35 detik atau total 40 detik. Untuk penggunaan 70% RAP diperlukan total waktu pencampuran selama 45 detik.



Gambar 5-12. Denah lokasi penghamparan campuran beraspal dengan RAP

Tabel 5-6. Sifat campuran beraspal panas dengan menggunakan 50% dan 70% agregat RAP dan agregat baru dari hot bin

No	Parameter Uji	Hasil Pengujian		Persyaratan AC-WC Mod (BM-Rev3)
		AC-WC 50% RAP	AC-WC 70% RAP	
1	Kadar Aspal (%)	5,7	5,9	
	- Aspal RAP, %	1,88	2,60	
	- Aspal Pen 60-70, %	3,70	3,16	
	- Peremaja, %	0,12	0,14	
3	Kepadatan (ton/m ³)	2,346	2,35	
3	VFB (%)	74,39	71,86	Min. 65
4	VIM (%)	4,05	4,45	3 – 5
5	VMA %)	15,70	15,80	Min. 15
6	Stabilitas (Kg)	1255	1717	1.000
7	Pelelehan (mm)	3,93	3,41	2 – 4
8	Stabilitas Sisa (%)	91,4	91,6	Min. 90
9	Stabilitas dinamis, lintasan/mm	4000	5150	Min. 2500

Pada Tabel 5-14 ditunjukkan bahwa temperatur pada saat pemadatan utama dengan pemadat roda karet umumnya sudah rendah, sehingga pada saat pemadatan akhir juga termperturnya sangat rendah (< 95°C). Hasil pelaksanaan uji coba di lapangan seperti disajikan pada Gambar 5-13. Tebal hamparan padat rata-rata untuk campuran dengan 50% RAP adalah 5,3 cm dan umtuk campuran dengan 70% RAP setebal 3,9 cm.



a) Penyemprotan Lapis perekat



b) Pemadatan awal



c) Pemadatan utama

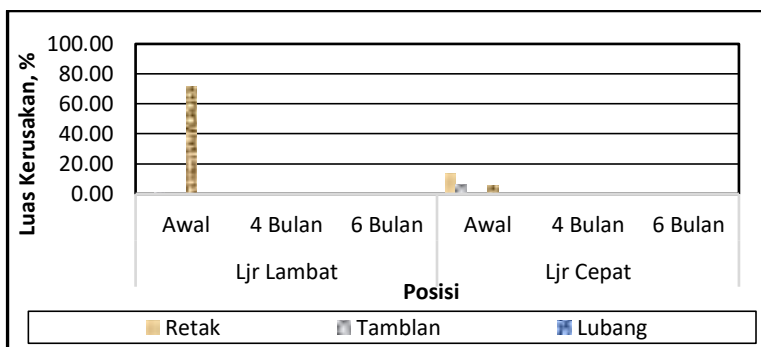


d) Hasil pelaksanaan

Gambar 5-13. Foto pelaksanaan di lapangan

Berdasarkan hasil monitoring hasil uji coba campuran AC-WC_{RAP}, yaitu sampai dengan umur sekitar 6 bulan setelah pelaksanaan, pada Gambar 5-14 kondisi perkerasan AC-WC_{RAP} masih baik, namun pada daerah tutup lubang pipa kabel Telkom (*manhole*) ditemukan retak refleksi. Hasil pengukuran kedalaman alur pada umur 6 bulan menunjukkan bahwa perkerasan AC-WC_{RAP} tahan terhadap deformasi yang ditunjukkan pada Gambar 5-15 bahwa kedalaman alur maksimum masih sekitar 3 mm.

Pada perkerasan AC-WC_{RAP} setelah umur 6 bulan juga telah dilakukan pengukuran kekuatan struktur, yaitu yang dicerminkan dengan data lendutan seperti disajikan pada Gambar 5-16. Pada Gambar 5-16 terlihat bahwa setelah perkerasan AC-WC_{RAP} bermur 6 bulan, data lendutan semakin mengecil, yaitu maksimum sekitar 80 mikron.



a) Data kondisi AC-WC_{RAP} setelah berumur sekitar 6 bulan



- Performa Perkerasan AC-WC_{RAP}



- Penilaian kondisi visual

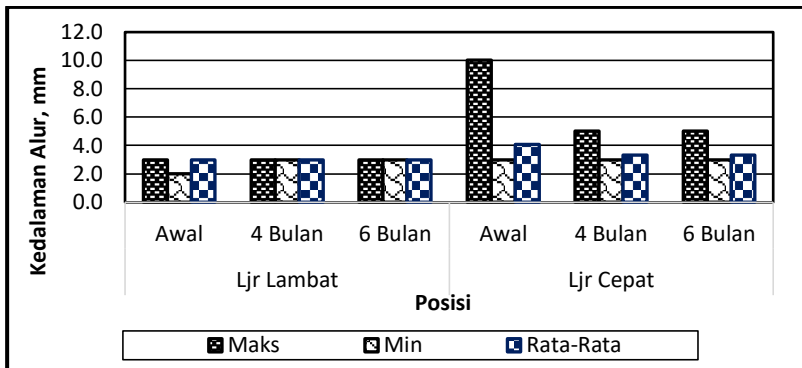


- Pengukuran alur

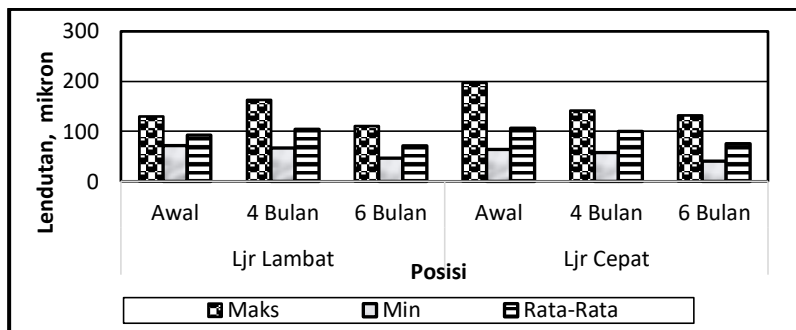


- Retak Refleksi dari *Manhole*

b) Foto penilaian kondisi AC-WC_{RAP} setelah berumur sekitar 6 bulan
Gambar 5-14. Kondisi AC-WC_{RAP} setelah berumur sekitar 6 bulan



Gambar 5-15. Data kedalaman alur sampai dengan umur 6 bulan



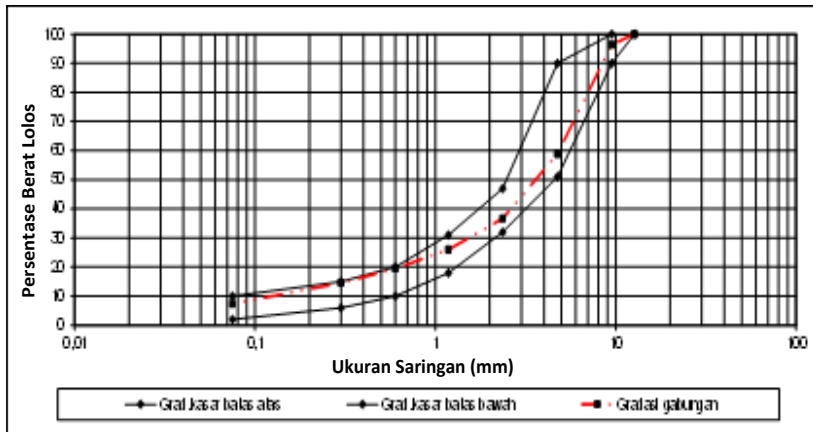
Gambar 5-16. Data lendutan sampai dengan umur 6 bulan

5.3. Hasil Uji Coba Campuran LTBA Daur Ulang

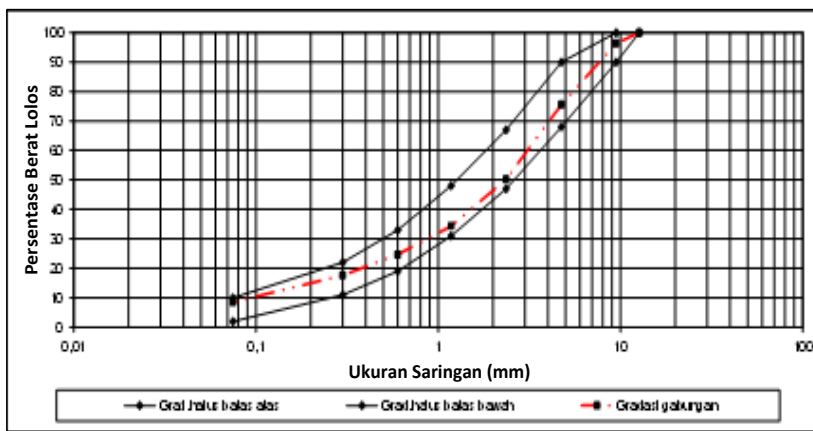
LTBA_{RAP} yang dilakukan uji coba adalah terdiri dari LTBA Kasar dan LTBA Halus. Berdasarkan komposisi campuran agregat dari *Hot Bin* maka gradasi agregat campuran LTBA Kasar dan Halus dengan 50% RAP. Hasil blending agregat dari Hot Bin gradasi agregat campuran untuk LTBA Kasar dan LTBA Halus dengan proporsi agregat RAP 50% disajikan pada Gambar 5-17 dan Gambar 5-18, sedangkan proporsi masing-masing bahan seperti ditunjukkan pada Tabel 5-7 (Risawn I., 2018).

Tabel 5-7. Proporsi bahan agregat Hot Bin dan RAP untuk LTBA

Jenis Bahan	Proporsi	
	LTBA _{RAP} Kasar	LTBA _{RAP} Halus
Agregat		
Agregat RAP	50,0%	50,0%
Hot Bin III	30,0%	10,0%
Hot Bin II	10,0%	15,0%
Hot Bin I	10,0%	25,0%
Kadar Aspal Perkiraan (Pb)	6,37%	6,65%



Gambar 5-17. Gradasi agregat Hot Bin gabungan LTBA_{RAP} kasar



Gambar 5-18. Gradasi agregat Hot Bin gabungan LTBA_{RAP} halus

Berdasarkan data pada pada Tabel 5-7 dan menggunakan Gambar 3-1 dan Gambar 3-2 dan Tabel 3-5, diperoleh proporsi bahan peremaja untuk LTBA Kasar dan Halus dengan 50% RAP, yaitu:

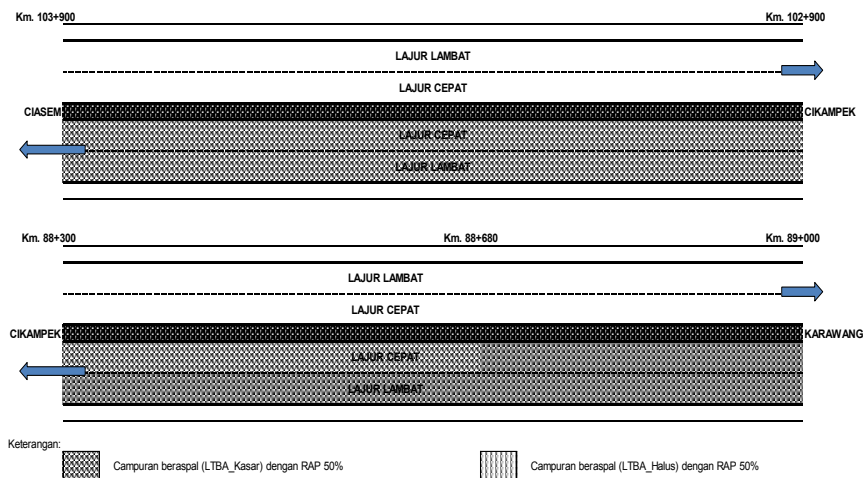
- ✓ untuk LTBA Kasar = 3,7% terhadap berat total aspal baru
- ✓ untuk LTBA Halus = 3,8% terhadap berat total aspal baru

Untuk mendapatkan karakteristik/ sifat-sifat campuran dari rumusan campuran kerja kedua jenis teknologi tersebut maka dilakukan pengujian Marshall, sedangkan untuk pengujian Stabilitas Dinamis dikerjakan di Laboratorium Puslitbang Jalan dan Jembatan. Sifat campuran LTBA_{RAP} yang gradasi kasar dan halus disajikan pada Tabel 5-8.

Tabel 5-8. Karakteristik campuran LTBA_{RAP}

Karakteristik Campuran	LTBA _{RAP}		Persyaratan
	Grad Kasar	Grad Halus	
1. Kadar aspal, %	6,20	6,30	-
- Aspal RAP, %	1,69	1,68	
- Aspal Pen 60-70, %	4,35	4,45	
- Peremaja, %	0,16	0,17	
2. Kepadatan, gr/cc	2,352	2,326	-
3. Rongga terisi aspal (VFB), %	73,79	78,02	Min. 65
4. Rongga dalam campuran (VIM), %	4,16	3,76	3,0 - 5,0
5. Rongga dalam mineral agregat (VMA), %	17,87	17,08	Min. 15
6. Stabilitas Marshall, kg	1006,91	1148,99	Min. 900
7. Pelelehan, mm	3,72	4,21	2,0 - 4,5
8. Stabilitas marshall sisa, %	100,00	96,44	Min. 90
9. Kadar aspal efektif, %	6,24	6,03	-
10. Rasio abu terhadap aspal	1,19	1,41	0,6 - 1,6
11. Stabilitas dinamis, lintasan/mm	2863,6	3500,0	Min. 2000

Pelaksanaan uji gelar dilapangan dilakukan selama 2 (dua) hari kerja untuk lokasi ruas jalan Cikampek-Ciasem Km. 102+900 – Km. 103+900 arah Cirebon dengan teknologi LTBA_{RAP} Kasar, sedangkan untuk lokasi ruas jalan Karawang-Cikampek Km. 88+300 – Km. 89+000 arah Cikampek untuk 2 (dua) jenis teknologi yaitu LTBA_{RAP} Kasar dan Halus selama 2 (dua) hari kerja sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5-19.



Gambar 5-19. Lokasi pelaksanaan penghamparan teknologi LTBA_{RAP}

Setelah pelaksanaan uji gelar lapangan pada umur perkerasan 1 (satu) bulan dilakukan pemantauan lapangan untuk mengetahui kondisi fungsional dan struktural. Pada pemantauan dilakukan beberapa jenis pengujian antara lain kondisi visual, pengukuran kedalaman alur, dan pengukuran lendutan. Hasil dari pemantauan kondisi permukaan perkerasan untuk kedua ruas jalan tersebut masih baik dan kedalaman alur pun masih dibawah 2,0 mm. Gambaran kondisi visual disajikan pada Gambar 5-20. Untuk data lendutan hasil survey pada kedua seksi percobaan seperti ditunjukkan pada Tabel 5-9, Gambar 5-21 dan Gambar 5-22. Berdasarkan hasil pada Tabel 5-9 serta Gambar 5-21 dan Gambar 5-22, terlihat bahwa lendutan yang terjadi mengalami penurunan dan umumnya <200 mikron untuk kedua ruas jalan tersebut.

a. Ruas Karawang-Cikampek, arah Cikampek



1) Awal seksi uji coba Karawang-Cikampek



2) Kondisi permukaan perkerasan



3) Survei kondisi visual



4). Pengukuran kedalaman alur

Gambar 5-20. Pemantauan/ monitoring umur 1 (satu) bulan setelah pelaksanaan

b. Ruas Cikampek-Ciasem, arah Cirebon



1). Awal seksi uji coba



2). Kondisi permukaan perkerasan



3) Pengukuran kedalaman alur

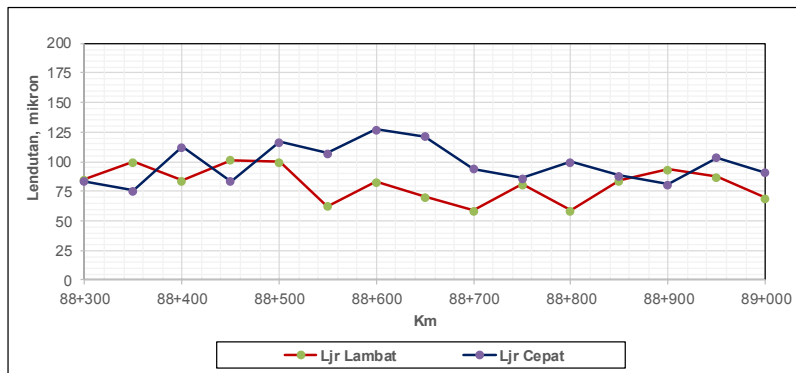


4) Pegujian lendutan dengan alat FWD

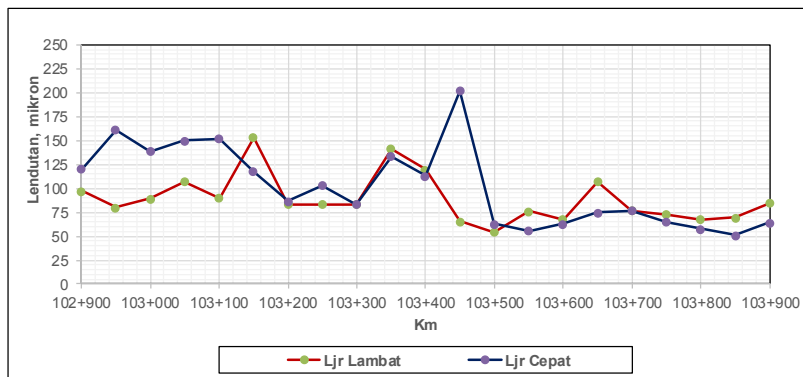
Gambar 5-20. Pemantauan/ monitoring umur 1 (satu) bulan setelah pelaksanaan, lanjutan

Tabel 5-9. Lendutan perkerasan jalan umur 1 bulan

Ruas/Lajur	Lendutan Maks, mikron		
	Maks	Min	Rata-rata
1. Ruas Karawang-Cikampek			
- Lajur Lambat	102	59	81
- Lajur Cepat	128	76	98
2. Ruas Cikampek-Ciasem			
- Lajur Lambat	153	55	89
- Lajur Cepat	202	51	102



Gambar 5-21. Lendutan maksimum ruas Karawang-Cikampek umur 1 bulan



Gambar 5-22. Lendutan maksimum ruas Cikampek-Ciasem umur 1 bulan

6. PENUTUP

Berdasarkan hasil kajian sekala di laboratorium dan uji coba di lapangan diperoleh bahwa RAP yang digunakan dalam campuran beraspal panas menggunakan aspal Pen 60/70 dan rejuvenile, baik untuk AC-WC maupun LTBA, proporsinya bisa tinggi (minimum 50% RAP) terhadap total agregat.

Penggunaan RAP pada campuran beraspal semakin banyak pada campuran beraspal maka penghematan aspal baru dan agregat baru semakin tinggi juga. Penghematan agregat baru sesuai dengan jumlah agregat yang terkandung dalam RAP, sedangkan untuk penghematan aspal baru tidak sesuai dengan penghematan agregat baru. Hal demikian disebabkan oleh aspal baru masih diperlukan untuk meremajakan aspal dari RAP dan atau melapisi tipis permukaan butiran RAP agar dapat saling mengikat butiran ketika dipadatkan. Selain itu, bilamana menggunakan agregat baru, aspal baru juga terserap oleh agregat baru.

Kinerja campuran beraspal panas daur ulang, baik untuk AC-WC maupun LTBA, sangat baik dan memenuhi persyaratan campuran beraspal panas untuk lalu lintas berat, Yaitu selain volumetrik dan parameter Marshall yang memenuhi persyaratan, namun lebih tahan terhadap deformasi dan memiliki ketahanan terhadap lelahnya (fatik) juga cukup baik.

Berdasarkan data di atas, pemanfaatan RAP dapat menghemat biaya serta mengurangi ketergantungan terhadap aspal impor dan kerusakan lingkungan akibat pembukaan tempat penambangan agregat baru. Selain itu, sesuai pengalaman dari beberapa negara, Indonesia perlu memulai pemanfaatan RAP terutama untuk pekerjaan pemeliharaan preventif dan rehabilitasi pada perkerasan jalan beraspal yang mengalami kerusakan, yaitu dengan menggunakan metode *cut and fill*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway Transportation Officials Standard (2012). *Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design* (AASHTO M323-12). Washington, D.C.
- Dony, A., Colin, J., Bruneau, D., Drouadaine, I., & Navaro, J. (2012). *Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: Changes in reclaimed binder properties according to rejuvenating agent*. Elsevier, 175-181.
- Qiu, J., Schlangen, E., van de Ven, M. F., & Shirazi, M. 2013. *Reintroducing The Intrinsic Self-Healing Properties In Reclaimed Asphalt by Rejuvenation*. Proceeding of the 4th International Conference on Self-Healing Materials (hal. 16-20). Ghent: Ghent University
- EAPA (2005). *Industry Statement on the recycling of asphalt mixes and use of waste of asphalt pavements*. European Asphalt Pavement Association, Brussels. Belgium
- Hansen. K. R dan Copeland. A. (2015). *Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2014*. Report No. Information Series 138 (5th edition), National Asphalt Pavement Association. Lanham, Maryland
- Lehtimäki, H. (2012). *Rejuvenating RAP with light oil products and a new mixing method for hot in-plant recycling*. In Via 2012 Congress. Espoo: Aalto University
- NAPA (2015). *High RAP Asphalt Pavements, Japan Practice-Lesson Learned, Information Series 139*. National Asphalt Pavement Association. Washington, D.C.
- Nono (2017). *Campuran Beraspal Hemat Agregat dan Aspal. Cetakan Pertama Agustus 2017*; ISBN: 978-979-799-886-8. LIPI Press, anggota Ikapi, Jakarta
- Novita, P., Subagio, B. S., & Rahman, H. (2011). *Kinerja kelelahan campuran beton aspal*. Jurnal Transportasi, 11
- Olard. F. dan Pouget. S. (2014). *Current Status of RAP Application in France. Application of Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Hot-Mix Asphalt: National and International Perspectives on Current Practice*. Transportation Research Circular E-C188, Transportation Research Board. Washington, DC

- Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (2018). Rancangan 1 (R1) *Perancangan dan pelaksanaan campuran beraspal panas daur ulang pencampuran di unit produksi campuran aspal*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung
- Qiu, J., Schlangen, E., van de Ven, M. F., & Shirazi, M. (2013). *Reintroducing The Intrinsic Self-Healing Properties In Reclaimed Asphalt by Rejuvenation*. Proceeding of the 4th International Conference on Self-Healing Materials (hal. 16-20). Ghent: Ghent University
- Riswan I (2018). *Laporan Akhir Penerapan Terbatas Teknologi Material Lokal di Pulau Morotai dan Lapis Tipis Hotmix Aspal RAP*, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Bandung
- Sumantri, B., Santiko, H., Djakfar, L., & Bowoputro, H. (2014). *Pengaruh peremaja oli bekas dan solar terhadap karakteristik marshall perkerasan daur ulang dengan asbuton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil (235).
- West. R.C., dan Copeland. A. (2015). *High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice - Lessons Learned (IS 139)*, National Asphalt Pavement Association. Lanham, Maryland
- Xu.J, Huang. S dan Qin. Y. (2014). *Asphalt Pavement Recycling in Mainland China. Application of Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Hot-Mix Asphalt: National and International Perspectives on Current Practice*. Transportation Research Circular E-C188. Transportation Research Board. Washington, DC