



TESIS RC - 142501

**ANALISIS PENGGUNAAN *RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT* (RAP) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN ASPAL DINGIN BERGRADASI TERBUKA DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL EMULSI JENIS KATIONIK
(Studi Kasus Material RAP dari Jalan Ir. Soekarno, Tabanan)**

I GUSTI BAGUS MEDIYASA PERMANA
3112207819

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng.
Ir. Herry Budianto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN ASET INFRASTRUKTUR
PROGRAM STUDI/JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS RC - 142501

**ANALYSIS OF THE USE OF RECLAIMED ASPHALT
PAVEMENT (RAP) AS OPEN GRADED COLD
MIXTURE ASPHALT USING ASPHALT EMULSION
OF CATIONIC
(A Case Study of the RAP Material from Ir. Soekarno,
Tabanan Street)**

I GUSTI BAGUS MEDIYASA PERMANA
3112207819

SUPERVISORS:

Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng.
Ir. Herry Budianto, M.Sc.

MAGISTER PROGRAMME
INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT SPECIALITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

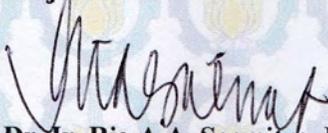
I GUSTI BAGUS MEDIYASA PERMANA

Nrp. 3112207819

Tanggal Ujian : 16 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:


1. Dr. Ir. Ria A.A. Soemitro, M.Eng.

(Pembimbing 1)

NIP. 19560119 198601 2 001


2. Ir. Herry Budianto, M.Sc.

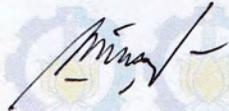
(Pembimbing 2)

NIP. -


3. Dr. Ir. Hitapriya S, M.Eng.

(Penguji)

NIP. 19541103 198601 1 001


4. Ir. Soemino, M.MT

(Penguji)

NIP. -

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Dr. Ir. Adi Suprijanto, MT.

NIP. 19640405 199002 1 001

**ANALISIS PENGGUNAAN *RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*(RAP) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN ASPAL DINGIN BERGRADASI TERBUKA DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL EMULSI JENIS KATIONIK
(Studi Kasus Material RAP dari Jalan Ir. Soekarno, Tabanan)**

Nama Mahasiswa : I Gusti Bagus Mediyasa Permana
NRP : 3112207819
Dosen Konsultasi : Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
Ir. Herry Budianto, M.Sc

ABSTRAK

Salah satu solusi tindakan pemeliharaan agar tingkat pelayanan jalan tetap terjaga adalah dengan menggunakan pengupasan/pengerukan perkerasan aspal lama untuk kemudian dilapisi kembali dengan perkerasan aspal baru. Hasil kerukan dari perkerasan lama disebut dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Kerusakan perkerasan jalan di Indonesia berupa retak-retak yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berlebihan, dapat dicegah dengan melakukan penanganan sedini mungkin dengan dilakukan tambal sulam (*patching*) menggunakan campuran beraspal dingin *Cold Mix Asphalt* (CMA). Bahu jalan di Indonesia sebenarnya dapat diperkeras menggunakan campuran aspal panas (*Hotmix*), akan tetapi kurang ekonomis dari segi biaya pelaksanaan. Maka dari itu dapat digunakan alternatif perkerasan menggunakan CMA. Jika penggunaan CMA tersebut dikombinasikan dengan RAP, maka diharapkan dapat menekan biaya pelaksanaan sekaligus memberikan daya dukung yang cukup layaknya campuran aspal panas (*Hotmix*).

Penelitian ini diawali dengan meneliti karakteristik RAP dan material baru ditinjau dari Spesifikasi Bina Marga 2010, dilanjutkan dengan membuat campuran beraspal dingin bergradasi terbuka menggunakan aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2, agregat baru, dan RAP. Jumlah agregat baru dalam campuran ditentukan oleh gradasi RAP. Agregat baru dan RAP dicampur dengan komposisi tertentu yang memenuhi amplop gradasi agregat. Campuran tersebut kemudian diuji dengan pengujian Marshall untuk menentukan komposisi yang memenuhi ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010. Pengujian dilanjutkan dengan mengurangi atau menambahkan jumlah RAP dengan melihat hasil dari pengujian fisik campuran pada komposisi pertama. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan untuk kegiatan pemeliharaan jalan berupa tambal sulam (*patching*) dan perkerasan pada bahu jalan.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa komposisi 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan dan 75% material baru memenuhi persyaratan Spesifikasi dengan Kadar Aspal Optimum sebesar 6,7% yang terdiri dari 5,2% aspal emulsi dan 1,5% aspal RAP. Penggunaan komposisi tersebut mengakibatkan adanya pengurangan biaya sebesar 21,25% dibandingkan campuran aspal dingin tanpa RAP.

Kata kunci : Jl. Ir. Soekarno Tabanan, Analisa Biaya, Aspal Emulsi Jenis Kationik Tipe CMS-2, Campuran Aspal Dingin *Cold Mix Asphalt* (CMA) bergradasi terbuka, *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

**ANALYSIS OF THE USE OF RECLAIMED ASPHALT
PAVEMENT (RAP) AS OPEN GRADED COLD MIXTURE
ASPHALT USING ASPHALT EMULSION OF CATIONIC
(A Case Study of the RAP Material from Ir. Soekarno Tabanan Street)**

Name : I Gusti Bagus Mediyasa Permana
Student Number : 3112207819
Supervisors : Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
Ir. Herry Budianto, M.Sc

ABSTRACT

One solution of maintenance actions for the road that level of service is maintained by using a stripping/dredging of the old asphalt pavement and then coated again with new asphalt pavement. The material dredged from the old pavement called Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Indonesian road pavement damage in the form of cracks caused by excessive traffic load, can be prevented by early treatment to be patchy using Cold Mix Asphalt (CMA). Indonesian road shoulders can actually amplified using hot mix asphalt, but less economical in terms of implementation costs. Thus it can be used alternative pavement using CMA. If the use of the CMA combined with RAP, it is expected to reduce the cost of implementation while providing sufficient carrying capacity like hot mix asphalt.

This study begins by examining the characteristics of RAP and new materials in terms of specification of Highways 2010, followed by creating open graded cold mixture asphalt and use asphalt emulsion of cationic type CMS-2, a new aggregate and RAP. The number of new aggregate in the mix is determined by RAP gradation. The new aggregate and RAP mixed with a specific composition that meets aggregate grading envelope. The mixture is then tested with Marshall Test to determine the composition comply with specifications of Highways, 2010. The test is continued by reducing or adding a number of RAP to see the results of physical testing on the composition of the mixture first. From the results of this research can be applied in the field of road maintenance activities in the form of patchwork (patching) and pavement on the road shoulder.

The results of the study showed that the composition of 25% RAP from Ir. Soekarno Tabanan Street and 75% new material meets the requirements specification with Optimum Asphalt Content of 6.7%, consisting of 5.2% bitumen RAP and 1.5% bitumen emulsion asphalt. The use of the composition resulted in a cost reduction of 21.25% compared to the cold asphalt mixture without RAP.

Keywords: Ir. Soekarno Tabanan Street, Cost Analysis, Asphalt Emulsion Cationic Type CMS-2, Open Graded Cold Mix Asphalt (CMA), Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Pascasarjana Bidang Keahlian Manajemen Aset Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil, FTSP - ITS Surabaya.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk peran dan jasa mereka yang sangat berarti bagi penulis, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ajik & Mama, Ajik & Ibu Mertua; Istri saya Anak Agung Ayu Mirah Varthina Devi dan Anak saya I Gusti Ayu Agung Chandani Tavisha atas segala cinta, semangat dan doa serta pengorbanan yang diberikan.
2. Ibu Dr.Ir. Ria A.A Soemitro, M.Eng dan Bapak Ir. Herry Budianto, M.Sc. atas segala arahan dan petunjuk selama penyusunan tesis.
3. Bapak Dr. Ir. Hitapriya S, M.Eng. dan Bapak Ir. Soemino, M.MT atas segala sarannya.
4. Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan (PUSDIKLAT) Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan beasiswa dan mendukung administrasi untuk mengikuti pendidikan Program Magister Bidang Keahlian Manajemen Aset Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil, FTSP - ITS Surabaya.
5. Keluarga Besar Balai Pelaksana Jalan Nasional Wilayah VIII dan rekan-rekan di Laboratorium BPJN VIII; atas bantuannya membuat briket dan pengujiannya.
6. Bli Esa dan Bang Rudi. sebagai teman seperjuangan yang telah berjuang bersama-sama.
7. Rekan-rekan Manajemen Aset Infrastruktur 2013 untuk persaudaraan dan kebersamaannya.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dan tidak penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Ida Sang Hyang Widhi Wasa membalas segala kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tesis ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, kritik dan saran sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2014

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR ISTILAH	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Definisi Jalan	7
2.2 Pengertian Konstruksi Jalan.....	8
2.3 Material Perkerasan Jalan	10
2.3.1 Agregat	10
2.3.2 Aspal Emulsi	17
2.4 <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	25
2.5 Penyiapan Agregat.....	26
2.5.1 Pengambilan Contoh Agregat	26

2.5.2	Tata Cara Pengambilan Sampel Agregat	27
2.6	Perencanaan Campuran Aspal Dingin.....	27
2.6.1	Komposisi Campuran	28
2.6.2	Sifat Campuran	29
2.7	Pelaksanaan Pengujian	29
2.7.1	Pemeriksaan Agregat	30
2.7.2	Pemeriksaan Aspal Emulsi	32
2.7.3	Pemeriksaan Campuran Aspal dan Agregat	37
2.8	Analisa Biaya	41
2.9	Penelitian Terdahulu	42
BAB 3	METODE PENELITIAN	45
3.1	Identifikasi Masalah	45
3.2	Bahan Penelitian.....	45
3.3	Tahapan dan Metode Penelitian	45
3.4	Pengujian dan Perancangan Benda Uji	48
3.5	Kesimpulan dan Rekomendasi	49
BAB 4	DATA PENELITIAN	51
4.1	Karakteristik Material RAP untuk Campuran Aspal Dingin	51
4.1.1	Agregat RAP.....	51
4.1.2	Aspal RAP	52
4.2	Karakteristik Material Baru untuk Campuran Aspal Dingin	52
4.2.1	Agregat Baru.....	53
4.2.2	Aspal Baru	54
BAB 5	ANALISIS DATA.....	55
5.1	Analisis Karakteristik Material Campuran Aspal Dingin	55
5.1.1	Karakteristik Agregat RAP dan Agregat Baru	55

5.1.2 Analisis Karakteristik Aspal RAP dan Aspal Baru	56
5.2 Analisis Gradasi Campuran Aspal Dingin.....	57
5.3 Analisis Karakteristik Campuran Aspal Dingin	59
5.3.1 Kadar Aspal Emulsi Awal.....	59
5.3.2 Perencanaan Komposisi Benda Uji	61
5.3.3 Hasil Pengujian Marshall	63
5.3.4 Rangkuman Hasil Pengujian Marshall	69
5.4 Analisis Biaya Penggunaan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	71
5.4.1 Perhitungan Biaya Pengujian Laboratorium	71
5.4.2 Perhitungan Biaya Produksi Campuran Aspal Dingin	73
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	75
6.1 Kesimpulan	75
6.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh tipikal jenis-jenis gradasi agregat	12
Gambar 2.2 Pengujian kekentalan.....	32
Gambar 2.3 Pengujian muatan listrik.....	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 4.1 Gradasi Agregat RAP Jl. Soekarno, Tabanan	52
Gambar 4.2 Gradasi Agregat Baru.....	54
Gambar 5.1 Gradasi Campuran Agregat RAP 20% dan 80% Agregat Baru	58
Gambar 5.2 Grafik Stabilitas terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	63
Gambar 5.3 Grafik Tebal Film Aspal terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	64
Gambar 5.4 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Dingin Bergradasi Terbuka dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	65
Gambar 5.5 Grafik Stabilitas terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	66
Gambar 5.6 Grafik Tebal Film Aspal terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	66
Gambar 5.7 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Dingin Bergradasi Terbuka dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	67
Gambar 5.8 Stabilitas Marshall Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2.....	69
Gambar 5.9 Tebal Film Aspal Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2	69
Gambar 5.10 Stabilitas Sisa Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2	70

DAFTAR ISTILAH

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials.

Agregat

Sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan.

Aspal

Material perekat dengan unsur utama bitumen.

Aspal Emulsi

Adalah aspal yang terdispersi dalam air dengan adanya Bahan Pengemulsi.

ASTM

American Society for Testing and Material.

Bahan Pengemulsi/Pendisersi

Adalah suatu zat yang molekulnya memiliki bagian polar dan nonpolar sehingga dapat larut dalam zat yang polar maupun nonpolar. Dengan adanya Bahan Pengemulsi, suatu zat dapat teremulsi lebih stabil dalam zat lain yang berbeda sifat kepolarannya.

Breaking (Pecahnya Aspal Emulsi)

Adalah memecahnya Aspal Emulsi setelah tercampur dengan agregat. Pada saat memecah, partikel-partikel aspal memisahkan diri dari air dan menyelimuti agregat.

Cold Milling Machine

Mesin penghancur perkerasan yang digunakan untuk mengelupas sebagian atau seluruh lapisan perkerasan jalan beraspal.

CMA (Cold Mix Asphalt)

Adalah campuran bahan perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan tertentu dan dicampur dalam keadaan dingin.

Colloid Mill

Adalah alat untuk mengemulsikan fasa padat di dalam fasa cair sehingga diperoleh Aspal Emulsi.

CMS (Cationic Medium Setting)

Aspal emulsi jenis kationik yang partikel aspalnya memisah dengan sedang dari air setelah kontak dengan udara.

Emulsi Kationik

Merupakan aspal emulsi yang partikel-partikel aspalnya bermuatan listrik positif, cara penguraian air dan aspal dengan proses reaksi, mempunyai variabilitas yang luas, baik untuk kelekatan terhadap batuan asam dan dapat disimpan.

Gradasi Terbuka

Campuran agregat dengan distribusi ukuran butiran sedemikian rupa sehingga pori-pori antar agregat tidak terisi dengan baik.

KAO (Kadar Aspal Optimum)

Kadar aspal terhadap berat campuran beraspal yang memenuhi seluruh persyaratan dan menunjukkan kinerja yang paling baik.

Kationik

Adalah elektro positif.

Larutan Pengemulsi

Adalah Bahan Pengemulsi dan Bahan Tambah Lain, seperti Asam Klorida dan Kalsium Klorida, yang dilarutkan dalam air.

Mantap

Adalah cukup stabilnya perkerasan campuran Aspal Emulsi untuk dilalui lalu lintas.

NAPA

National Asphalt Pavement Association.

RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

Material hasil pengupasan dan atau pemrosesan ulang perkerasan jalan beraspal yang di dalamnya terdapat agregat dan aspal.

Setting

Yaitu pemisahan aspal dari air dan melekatnya pada permukaan agregat telah sempurna.

SNI

Standar Nasional Indonesia.

Teremulsi (Terdispersi)

Adalah tercampurnya suatu zat dalam bentuk partikel-partikel kecil dengan zat lain yang berbeda sifat kepolarannya. Kedua zat ini tidak dapat saling melarutkan sehingga campurannya bersifat heterogen.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Aspal Dingin.....	15
Tabel 2.2 Bahan Aspal Untuk Campuran Aspal Dingin.....	18
Tabel 2.3 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik Mantap Sedang	19
Tabel 2.4 Minimum Contoh Dari Lapangan Berdasarkan Ukuran Agregat	26
Tabel 2.5 Ketentuan Campuran Dingin, Komposisi, dan Sifat Campuran	28
Tabel 2.6 Persyaratan Campuran Beraspal Dingin	29
Tabel 2.7 Temperatur Pengujian pada jenis aspal emulsi	32
Tabel 3.1 Rincian Jumlah Benda Uji	49
Tabel 4.1 Karakteristik Agregat RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	51
Tabel 4.2 Karakteristik Aspal RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan	52
Tabel 4.3 Karakteristik Agregat Baru	53
Tabel 4.4 Perhitungan Gradasi Agregat Baru	53
Tabel 4.5 Karakteristik Aspal Emulsi CMS-2	54
Tabel 5.1 Perhitungan Komposisi Agregat RAP dan Agregat Baru.....	58
Tabel 5.2 Komposisi Benda Uji Tes Penyelimutan Agregat	61
Tabel 5.3 Komposisi Benda Uji Marshall dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan Material Baru 80% (Sampel 1)	62
Tabel 5.4 Detail Komposisi Benda Uji Marshall dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan Material Baru 80% (Sampel 1).....	62
Tabel 5.5 Stabilitas Sisa terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	64
Tabel 5.6 Stabilitas Sisa terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	67
Tabel 5.7 Perhitungan Gradasi Agregat RAP 30% dan Agregat Baru 70%	68
Tabel 5.8 Pengendalian Mutu	72
Tabel 5.9 Perbandingan Harga Campuran Beraspal Dingin	73

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama I Gusti Bagus Mediyasa Permana, putra kedua dari tiga bersaudara dan lahir di Sleman pada tanggal 25 Juni 1989.

Riwayat pendidikan dimulai dari SD N 1 Bajera, SMP Negeri 1 Selemadeg dan SMA 1 Tabanan. Kemudian melanjutkan pendidikan pada program S1 jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2010.

Setelah lulus S1 pada pertengahan tahun 2010, penulis bekerja pada perusahaan kontraktor, dan pada akhir tahun 2010 penulis diterima sebagai PNS pada Kementerian Pekerjaan Umum sampai dengan sekarang. Kemudian mendapatkan tugas belajar di Program Magister (S2) Bidang Manajemen Aset Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya pada awal tahun 2013.

Email : bagusmediyasapermana@yahoo.co.id

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam Rencana Kerja Pemerintah Tahun 2015 Khusus Bidang Tugas Kementerian Pekerjaan Umum yang ditetapkan dalam Perpres No. 43 Tahun 2014, Pemerataan pembangunan dan ketersediaan infrastruktur yang berdaya saing merupakan faktor pendorong pertumbuhan ekonomi. Secara umum, daya saing infrastruktur Indonesia saat ini kondisinya mengalami perbaikan, namun masih rendah dibandingkan negara-negara lain di ASEAN. Rendahnya daya saing infrastruktur tersebut antara lain akibat dari adanya hambatan pada pergerakan penumpang maupun barang di berbagai moda transportasi yang ada. Kerusakan jalan akibat pembebanan berlebih turut menyumbang pada peningkatan waktu tempuh.

Berdasarkan Undang-undang RI Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, peranan jalan adalah sebagai prasarana distribusi barang dan jasa dalam kaitannya pemerataan pertumbuhan perekonomian daerah juga berperan dalam memperkuat kesatuan wilayah nasional. Mengingat pentingnya peranan jalan, dalam pelaksanaannya Pemerintah sebagai penyelenggara jalan wajib memprioritaskan pemeliharaan, perawatan dan pemeriksaan jalan secara berkala untuk mempertahankan tingkat pelayanan jalan sesuai dengan standar pelayanan minimal yang ditetapkan.

Dalam pelaksanaannya perbaikan perkerasan dilakukan dengan cara melapisi perkerasan lama dengan perkerasan baru. Hal ini menyebabkan elevasi permukaan jalan bertambah sebagai akibat dari pelapisan perkerasan secara terus-menerus. Di daerah perkotaan dimana terdapat bangunan dengan elevasi permanen sepanjang jalan, pelapisan aspal akan menyebabkan ketidaknyamanan bagi masyarakat.

Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah dengan melaksanakan pemeliharaan badan jalan berupa pengupasan/pengerukan perkerasan aspal lama untuk kemudian dilapisi kembali dengan perkerasan aspal baru. Pengupasan lapis perkerasan aspal lama ini dilaksanakan dengan *cold milling machine* (mesin

pengupas perkerasan beraspal tanpa pemanasan) maupun tanpa *cold milling machine*, yang disebut dengan cara manual menggunakan seperangkat alat berupa *asphalt cutter*, *jack hammer* dan lain-lain (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010). Hasil kerukan dari perkerasan lama disebut dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Selama ini RAP tersebut hanya digunakan sebagai urugan semata, tetapi perlu diperhatikan bahwa di dalam RAP terkandung aspal yang masih berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan. Sehingga perlu diusahakan agar RAP dapat didaur ulang dan digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Proses daur ulang perkerasan jalan pada dasarnya adalah mengolah kembali perkerasan lama yang telah aus/rusak atau bahan buangan, menjadi perkerasan baru yang lebih kuat dengan menambahkan bahan agregat dan bahan pengikat (Budianto, 2009).

Salah satu tindakan pemeliharaan jalan dengan menggunakan campuran beraspal dingin *Cold Mix Asphalt* (CMA). Penggunaan CMA memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan campuran beraspal panas yaitu, CMA dapat disimpan selama waktu tertentu (tidak cepat mengeras), penggunaannya praktis untuk pekerjaan tambal sulam (*patching*), dapat dilaksanakan dengan peralatan yang relatif sederhana, tidak perlu pemanasan agregat sehingga ramah lingkungan dan tidak menimbulkan asap (Dirjen Bina Marga, 1999).

CMA sangat cocok dikembangkan di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Karena peningkatan kekuatan CMA setelah pemadatan akan lebih cepat akibat penguapan kandungan air. Selain itu CMA sangat cocok dipakai untuk ruas jalan dengan lalu lintas ringan sampai sedang dengan pekerjaan skala kecil yang lokasinya menyebar, misalnya untuk pemeliharaan jalan berupa penambalan lubang-lubang jalan (*patching*), perkerasan untuk pejalan kaki, dan lainnya (*Asphalt Institute*, 1989).

Pada umumnya, kerusakan perkerasan jalan di Indonesia berupa retak-retak yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berlebihan. Kerusakan ini seringkali terlambat diantisipasi sehingga menjadi lubang yang membahayakan keselamatan. Keterlambatan penanganan ini disebabkan karena pelaksana di lapangan harus menunggu produksi aspal panas (*Hotmix*) pada saat proyek

berlangsung. Padahal terjadinya lubang tersebut dapat dicegah dengan melakukan penanganan sedini mungkin. Misalnya pada saat kerusakan masih berupa retak-retak, dilakukan tambal sulam (*patching*) menggunakan CMA.

Jalan nasional di Indonesia umumnya memiliki bahu jalan berupa urugan tanah yang diperkeras dengan agregat. Hal tersebut memiliki beberapa kelemahan yaitu, memiliki resiko tergerus air hujan (*erosi*), ditumbuhi tanaman liar yang mengganggu pengguna jalan, dan tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk menopang beban kendaraan yang berhenti sementara atau untuk keadaan darurat. Bahu jalan tersebut sebenarnya dapat diperkeras menggunakan campuran aspal panas (*Hotmix*), akan tetapi kurang ekonomis dari segi biaya pelaksanaan. Maka dari itu dapat digunakan alternatif perkerasan menggunakan CMA. Jika penggunaan CMA tersebut dikombinasikan dengan RAP, maka diharapkan dapat menekan biaya pelaksanaan sekaligus memberikan daya dukung yang cukup layaknya campuran aspal panas (*Hotmix*).

Dalam upaya memanfaatkan potensi RAP di Bali dengan lebih optimal, maka dilakukan penelitian ini yaitu penggunaan RAP sebagai bahan campuran beraspal dingin menggunakan aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2 dengan mengambil contoh material RAP dari ruas Jalan Ir. Soekarno, Tabanan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, pokok permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik material RAP dan material baru yang akan digunakan sebagai bahan campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010?
2. Bagaimana komposisi gradasi campuran antara agregat RAP dan agregat baru yang memenuhi persyaratan campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010?
3. Bagaimana karakteristik dan komposisi yang optimal dari campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka yang memanfaatkan material RAP

sebagai bahan campuran dan aspal emulsi CMS-2 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010?

4. Bagaimana keuntungan campuran beraspal dingin (CMA) bergradasi terbuka dengan RAP dari segi biaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui karakteristik material RAP dan material baru yang akan digunakan sebagai bahan campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010.
2. Mengetahui komposisi gradasi campuran antara agregat RAP dan agregat baru yang memenuhi persyaratan campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010.
3. Mengetahui karakteristik dan komposisi yang optimal dari campuran aspal dingin (CMA) bergradasi terbuka yang memanfaatkan material RAP sebagai bahan campuran dan aspal emulsi CMS-2 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.
4. Mengetahui keuntungan campuran beraspal dingin (CMA) bergradasi terbuka dengan RAP dari segi biaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah ditemukannya komposisi yang optimal dari campuran beraspal dingin bergradasi terbuka dengan menggunakan RAP dan aspal emulsi sehingga bisa digunakan pada saat pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan jalan dan memberikan alternatif penerapan pembangunan yang ramah lingkungan serta pemakaian energi (bahan bakar minyak) yang seminim mungkin.

1.5 Batasan Penelitian

Sehubungan dengan permasalahan yang akan dibahas, maka batasan yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan RAP yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah hasil kerukan/kupasan dari jalan Ir. Soekarno, Tabanan.
2. Campuran beraspal dingin yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan aspal emulsi tipe kationik jenis *Cationic Medium Setting* (CMS-2).
3. Sifat-sifat fisik agregat, aspal dan campuran yang diuji mengacu kepada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.
4. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, tidak dilakukan pengujian di lapangan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jalan

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, Definisi jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Menurut peranannya, jalan dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu sebagai berikut:

1. Jalan Arteri

Yaitu jalan yang melayani angkutan primer yang memerlukan rute jarak jauh, kecepatan rata-rata yang tinggi dan sejumlah jalan masuk yang terbatas yang dipilih secara efisien.

2. Jalan Kolektor

Yaitu jalan melayani penampungan dan pendistribusian transportasi yang memerlukan rute jarak sedang kecepatan yang sedang dan jalan masuk yang jumlahnya terbatas.

3. Jalan Lokal

Yaitu jalan yang melayani transportasi lokal yang memerlukan rute jarak pendek, kecepatan rata-rata rendah dan mempunyai jalan masuk yang tidak terbatas.

4. Jalan Lingkungan

Yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata – rata rendah.

Berdasarkan statusnya, jalan dapat dikelompokkan menjadi :

1. Jalan Nasional

Jalan nasional merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi dan jalan strategis nasional serta jalan tol.

2. Jalan Provinsi

Jalan provinsi merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota atau antar ibukota kabupaten/kota dan jalan strategis provinsi.

3. Jalan Kabupaten

Jalan kabupaten merupakan jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang tidak termasuk pada jalan nasional dan jalan provinsi, yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten dan jalan strategis kabupaten.

4. Jalan Kota

Jalan kota merupakan jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan persil, menghubungkan antar persil serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota.

5. Jalan Desa

Jalan desa merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa serta jalan lingkungan.

2.2 Pengertian Konstruksi Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi yang dipasang langsung diatas tanah dasar badan jalan pada jalur lalu lintas yang bertujuan untuk menerima dan menahan beban langsung dari lalu lintas (Saodang, 2005). Untuk memenuhi maksud tersebut maka konstruksi jalan raya harus memenuhi beberapa tinjauan antara lain:

1. Secara keseluruhan harus kuat terhadap beban lalu lintas yang melaluinya.
2. Permukaan jalan harus tahan terhadap keausan akibat ban kendaraan, air dan hujan.
3. Permukaan jalan harus cukup tahan terhadap cuaca dan temperatur, dimana jalan itu berada.

4. Memiliki nilai ekonomis yang cukup, dikaitkan pada biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan dan pemeliharaan jalan.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas tiga jenis konstruksi (Sukirman, 1992) yaitu :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), yaitu perkerasan dengan menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat.
3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari atas lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya. Lapisan-lapisan tersebut (Saodang, 2005) adalah:

1. Lapisan Permukaan.
2. Lapisan Pondasi Atas.
3. Lapisan Pondasi Bawah.
4. Lapisan Tanah Dasar.

Lapisan permukaan terletak paling atas berfungsi sebagai penahan beban roda, lapis kedap air, lapis aus, dan lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah. Jenis lapis permukaan yang dipergunakan di Indonesia (Saodang, 2005) adalah:

1. Laburan Satu Lapis (Burtu)

Burtu terdiri atas laburan aspal yang dicampur dengan 8 pph kerosin dan ditutup dengan batuan dengan ukuran nominal 13 mm yang cocok digunakan untuk lalu lintas ringan sampai dengan sedang.

2. Laburan Dua Lapis (Burda)

Burda terdiri atas laburan aspal dicampur dengan 8 pph kerosin dan ditutup dua kali batuan penutup.

3. Lapis Penetrasi Mac Adam (Lapen)

Lapen terdiri atas lapisan batuan pokok, batuan pengunci dan batuan penutup yang dicor dengan aspal panas sehingga membentuk lapisan yang padat.

4. Lapis Asbuton Agregat (Lasbutag) dan Lasbutag Mikro

Lasbutag terdiri atas aspal alam Asbuton, agregat dan *modifier* yang dicampur kemudian dihamparkan dan dipadatkan sebagai campuran dingin

5. *Asphaltic Concrete* (AC)

AC merupakan campuran aspal dan agregat yang dicampur secara panas yang disebut *hotmix*, dihamparkan dan dipadatkan sehingga membentuk lapisan yang kedap air.

6. *Dense Grade Emulsion Mix* (DGEM) dan *Open Grade Emulsion Mix* (OGEM)

DGEM dan OGEM merupakan campuran aspal emulsi dengan agregat bergradasi rapat untuk DGEM dan agregat yang bergradasi terbuka untuk OGEM, dicampur dan dipadatkan pada suhu dingin.

7. *Slurry seal*

Slurry seal adalah lapisan tipis perkerasan untuk permukaan yang merupakan bubuk campuran aspal emulsi dan abu batu yang dihamparkan pada lapis permukaan.

8. *Split Mastic Asphalt* (SMA)

SMA adalah campuran aspal beton yang menggunakan agregat bergradasi terbuka sehingga menghasilkan rongga campuran yang cukup besar yang diisi aspal sehingga kandungan aspalnya cukup tinggi.

2.3 Material Perkerasan Jalan

2.3.1 Agregat

Agregat atau batuan secara umum didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid yang berupa bahan berbutir dengan komposisi mineral padat berupa masa berukuran besar maupun fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang mempunyai komposisi 90 – 95% terhadap campuran atau 75 – 85% terhadap volume. Dengan demikian daya dukung dan mutu perkerasan jalan lebih ditentukan oleh sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain (Sukirman, 1992).

Pada campuran beraspal, agregat memberikan kontribusi hingga 90-95% terhadap berat campuran, sehingga sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor

penentu dari kinerja campuran tersebut (Dirjen Prasarana Wilayah, 2002). Jadi, sifat agregat yang harus diperiksa antara lain:

1. Ukuran Butir Agregat.

Agregat yang digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran, memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan.

2. Gradasi Agregat.

Gradasi merupakan distribusi partikel agregat yang berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan kemudahan pengerjaan dan stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi dari saringan tersebut. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

- a. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)/ Gradasi Terbuka (*Open Graded*)

Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

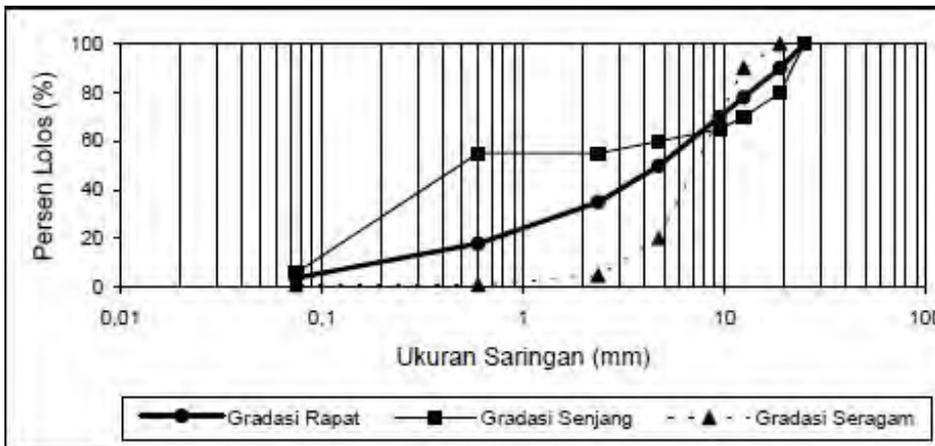
- b. Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

c. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang (*gap graded*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan di atas.

Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu horizontal dan prosentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal. Contoh jenis-jenis gradasi agregat secara tipikal ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh tipikal jenis-jenis gradasi agregat (Dirjen Prasarana Wilayah, 2002)

3. Kebersihan Agregat.

Kebersihan agregat merupakan batasan jenis dan jumlah material yang tidak diinginkan (seperti tanaman, partikel lunak, lumpur, dan lain sebagainya) berada dalam atau melekat pada agregat. Agregat yang kotor akan memberikan pengaruh yang buruk pada kinerja perkerasan, seperti berkurangnya ikatan antar aspal dengan agregat yang disebabkan oleh banyaknya kandungan lempung pada agregat tersebut.

Kebersihan agregat dapat diuji di laboratorium dengan analisa saringan basah, yaitu dengan menimbang agregat sebelum dan sesudah dicuci lalu membandingkannya. Sehingga akan memberikan persentase agregat yang

lebih halus dari 0,075 mm (No. 200). Pengujian setara pasir (*Sand Equivalent Test*) adalah satu metoda lainnya yang biasanya digunakan untuk mengetahui proporsi relatif dari material lempung yang terdapat dalam agregat yang lolos saringan No. 4,75 mm (No. 4).

4. Daya Tahan Agregat.

Semua agregat yang digunakan harus mampu menahan abrasi, degradasi dan disintegrasi selama proses produksi dan operasionalnya di lapangan. Degradasi adalah kehancuran agregat akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan, maupun beban lalu lintas. Sedangkan disintegrasi adalah pelapukan agregat akibat pengaruh kimiawi seperti kelembaban dan perbedaan temperatur.

Agregat yang akan digunakan sebagai lapis permukaan perkerasan harus lebih keras (lebih tahan) dari pada agregat yang digunakan untuk lapis bawahnya. Hal ini disebabkan karena lapisan permukaan perkerasan akan menerima dan menahan tekanan dan benturan akibat beban lalu lintas paling besar. Untuk itu, kekuatan agregat terhadap beban merupakan suatu persyaratan yang mutlak harus dipenuhi oleh agregat yang akan digunakan sebagai bahan jalan. Uji kekuatan agregat di laboratorium biasanya dilakukan dengan uji abrasi dengan mesin *Los Angeles (Los Angeles Abrasion Test)*, uji beban kejut (*Impact Test*) dan uji ketahanan terhadap pecah (*Crushing Test*). Dengan pengujian-pengujian ini kekuatan relatif agregat dapat diketahui.

5. Bentuk Butir Agregat.

Bentuk partikel dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan campuran perkerasan selama penghamparan, yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan kekuatan struktur perkerasan selama umur layanan. Agregat yang bersudut tajam, berbentuk kubikal dan agregat yang memiliki lebih dari satu bidang pecah akan menghasilkan ikatan antar agregat yang paling baik. Kombinasi bentuk partikel agregat ini sangatlah dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasan dan kemudahan pengerjaan yang baik dari campuran perkerasan jalan.

6. Tekstur Permukaan Agregat.

Selain memberikan sifat ketahanan terhadap gelincir (*skid resistance*) pada permukaan perkerasan, tekstur permukaan agregat (baik makro maupun mikro) juga merupakan faktor lainnya yang menentukan kekuatan, kemudahan pengerjaan dan durabilitas campuran beraspal. Permukaan agregat kasar akan memberikan perkuatan pada campuran beraspal karena kekasaran permukaan agregat dapat menahan agregat tersebut dari pergeseran atau perpindahan. Kekasaran permukaan agregat juga akan memberikan tahanan gesek yang kuat pada roda kendaraan sehingga akan meningkatkan keamanan kendaraan terhadap slip.

7. Daya Serap Agregat.

Porositas agregat menentukan banyaknya zat cair yang dapat diserap oleh agregat. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal. Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berfungsi untuk mengikat partikel agregat menjadi sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang lebih tipis.

8. Kelekatan Agregat terhadap Aspal.

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah kecenderungan agregat untuk menerima, menyerap, dan menahan film aspal. Agregat *hidrophobik* (tidak menyukai air) adalah agregat yang memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi. Sebaliknya, agregat *hidrofilik* (suka air) adalah agregat yang memiliki kelekatan terhadap aspal yang rendah. Sehingga agregat jenis ini cenderung terpisah dari film aspal bila terkena air.

Ada beberapa metoda uji untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal dan kecenderungannya untuk mengelupas (*stripping*). Salah satu diantaranya dengan merendam agregat yang telah terselimuti aspal ke dalam air, lalu diamati secara visual. Tes lainnya adalah tes perendaman-mekanik. Tes ini menggunakan 2 contoh campuran, satu direndam dalam air dan diberikan energi mekanik dengan cara pengadukan, dan satunya lagi tidak. Kemudian kedua contoh ini diuji kekuatannya. Perbedaan kekuatan antara keduanya

dapat dipakai sebagai indikator untuk dapat mengetahui kepekaan agregat terhadap pengelupasan.

Berdasarkan ukuran besar butiran agregat dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu (Saodang, 2005):

1. Agregat Kasar.

Agregat kasar dengan ukuran butiran $> \frac{1}{4}$ inci (6,35 mm) yaitu semua bahan agregat yang tertahan pada saringan no.4 dan berfungsi sebagai penstabil mekanis pada perkerasan jalan.

2. Agregat Halus.

Agregat halus yaitu semua bahan agregat yang lolos pada saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200 (0,075 mm), biasanya berupa pasir murni, hasil dari mesin pemecah batu, atau kombinasi keduanya.

3. Mineral *Filler* (Bahan Pengisi)

Bahan pengisi adalah agregat halus yang lolos saringan no.200, berupa abu batu. Abu kapur atau abu semen diyakini dapat memperbaiki adhesi antara aspal dan agregat.

2.3.1.1 Ketentuan Agregat Kasar

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, agregat kasar untuk campuran aspal dingin harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah. Agregat kasar hanya boleh digunakan apabila mempunyai partikel lolos ayakan No.200 (0,075 mm) maksimal 1%.
- b. Agregat kasar harus terdiri atas bahan yang bersih, keras, awet dan bebas dari kotoran dan bahan-bahan lain yang tidak diinginkan dan harus memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Aspal Dingin

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks.12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles pada 500 putaran	SNI 2417 : 2008	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2417 : 2008	Min. 95%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

- c. Agregat yang tertahan ayakan 2,36 mm dan mempunyai dua bidang pecah harus berjumlah minimal 65%. Persentase butiran agregat yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah ditentukan dengan pemeriksaan setiap butir agregat pada agregat seberat sekitar 2 kg dan ditunjukkan dengan berat butiran dengan 2 bidang pecah atau lebih sebagai persentase berat seluruh contoh.

2.3.1.2 Ketentuan Agregat Halus

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, agregat halus untuk campuran aspal dingin harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Agregat halus, dari setiap sumber, harus terdiri dari pasir atau batu pecah halus atau kombinasi keduanya.
- b. Agregat halus harus terdiri atas butiran yang bersih, keras dan bebas dari gumpalan atau bola lempung, atau bahan lain yang tidak diinginkan. Batu pecah halus yang dihasilkan dari pemecahan batu harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2.1. Agregat halus hanya boleh digunakan apabila mempunyai partikel lolos ayakan No.200 (0,075 mm) maksimal 8% atau mempunyai nilai setara pasir (*sand equivalent*) minimal 50 sesuai dengan SNI 03-4428-1997.

2.3.1.3 Ketentuan Bahan Pengisi (*Filler*)

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, bahan pengisi (*filler*) untuk campuran aspal dingin harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang.
- b. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (0,075 mm) minimal 75% terhadap beratnya.
- c. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan minimum 1% dan maksimum 2%.

2.3.2 Aspal Emulsi

Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas (Sukirman, 2003):

1. Aspal kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
2. Aspal anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.
3. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas (Dirjen Bina Marga, 1992):

1. Aspal Emulsi Mantap Cepat (*Rapid Setting, RS*), Aspal emulsi ini mempunyai waktu pemantapan (*setting*) yang singkat sehingga hanya cocok untuk pelaburan seperti Burtu, Burda, Buras, Penetrasi Makadam, Lapis Resap Pengikat (*Prime Coat*) atau Lapis Pengikat (*Tack Coat*).
2. Aspal Emulsi Mantap Sedang (*Medium Setting, MS*), Aspal emulsi ini mempunyai waktu pemantapan (*setting*) yang sedang dengan agregat kasar yang digunakan dalam campuran.
3. Aspal Emulsi Mantap Lambat (*Slow Setting, SS*), Aspal emulsi ini mempunyai waktu pemantapan (*setting*) yang lambat sehingga memungkinkan untuk digunakan pada pencampuran dengan agregat halus yang tinggi atau agregat bergradasi menerus.

Waktu Pemantapan (*Setting*) pada aspal emulsi yaitu pemisahan aspal dari air dan melekatnya pada permukaan agregat telah sempurna.

Pada saat aspal disimpan untuk waktu yang lama (sekitar 3 bulan), maka emulsi bisa terlepas (*break*) dan aspal mengendap ke dasar kontainer/drum (Soehartono, 2010). Aspal emulsi dibuat dengan tujuan untuk mencapai viskositas rendah, tanpa harus dipanaskan, sehingga memudahkan untuk pembuatannya.

Disamping itu, penggunaan media air dianggap aman terhadap kemungkinan yang mengganggu sifat aspal (dibandingkan dengan pelarut hidrokarbon yang dapat membuat aspal menjadi lunak). Penggunaan aspal emulsi untuk campuran aspal dingin, memiliki elemen kecocokan (*affinity*). Hal ini terutama dipengaruhi oleh kandungan muatan listrik pada permukaan agregat. Secara teori aspal emulsi akan memiliki ikatan lebih baik dengan agregat yang memiliki muatan listrik yang berlawanan.

2.3.2.1 Spesifikasi Aspal Emulsi

Bahan aspal boleh aspal cair atau aspal emulsi yang memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Bahan Aspal Untuk Campuran Aspal Dingin

Rancangan Campuran	Standar Rujukan	Jenis Aspal Cair atau Emulsi	
		C	E
Aspal Cair	SNI 03-4799-1998	MC 250 MC 800	-
Aspal Emulsi	SNI 03-4798-1998	-	CMS2 CMS2-h CSS1

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

Aspal emulsi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2. CMS-2 merupakan jenis aspal emulsi pengikatan sedang yang cocok digunakan untuk jenis campuran bergaradasi terbuka. Dipilihnya aspal emulsi jenis kationik yang partikel-partikel aspalnya bermuatan listrik positif karena sangat sesuai dengan jenis batu-batuan yang ada di Indonesia yang sebagian besar terdiri dari batuan silika atau granit (bersifat asam) yang bermuatan listrik negatif (Dirjen Bina Marga, 1999).

Menurut Ghaly (2013), aspal emulsi memiliki daya ikat partikel yang lebih kuat pada kondisi viskositas rendah daripada kondisi viskositas yang tinggi. Kondisi viskositas rendah sesuai dengan kondisi campuran aspal dingin.

Aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2 yang digunakan harus memenuhi Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik Mantap Sedang

No.	Sifat-sifat	Pengikatan Sedang			
		(CMS-2)		(CMS-2h)	
		Min	Max	Min	Max
1.	Kekentalan pada suhu 50°C (detik)	50	450	50	450
2.	Pengendapan 1 hari (%)	-	1	-	1
	Pengendapan 5 hari (%)	-	5	-	5
3.	Daya tahan terhadap air:				
	a. Lapisan batu kering	80%	100%	80%	100%
	b. Lapisan batu kering setelah semprotan air	60%	80%	60%	80%
	c. Lapisan batuan basah	60%	80%	60%	80%
	d. Lapisan setelah semprotan air	60%	80%	60%	80%
4.	Muatan Listrik	Positif			
5.	Analisa saringan (%)	-	0,10	-	0,10
6.	Penyulingan :				
	a. Sisa destilasi (%)	65	-	65	-
	b. Kadar minyak (%)	-	12	-	12
7.	Sisa Penyulingan :				
	a. Penetrasi 25°C 100 g, 5 detik	100	250	40	90
	b. Daktilitas 25°C, 5 cm/menit	40	-	40	-
	c. Kelarutan terhadap trichloroethylene (%) berat	-	97,5	-	97,5

Sumber : SNI 03-4798-1998

2.3.2.2 Komponen Aspal Emulsi

Ada beberapa komponen utama yang perlu diperhatikan dalam pembuatan aspal emulsi tipe CMS yaitu (Dirjen Bina Marga, 1999):

1. Fasa Padat

Fasa padat terdiri atas aspal keras pen 40/50 atau pen 60/70 atau pen 80/100 yang memenuhi persyaratan ASSHTO M-20-1990, ditambah kerosin sedemikian rupa sehingga menjadi aspal keras pen 180/200. Untuk aspal keras pen 60/70, agar diperoleh aspal keras pen 180/200, kerosin yang ditambahkan berkisar antara 2-4% terhadap berat aspal. Bila aspal emulsi yang dibuat jenis CMS-2h (dengan nilai penetrasi residu rendah), dapat digunakan aspal keras pen 40/50 atau pen 60/70 dengan kadar kerosin dapat dikurangi hingga 0%.

Apabila menggunakan bahan pengemulsi jenis tertentu, yaitu misalnya bahan pengemulsi yang dapat digunakan untuk aspal emulsi jenis CMS dan juga CRS, kadar kerosin dalam fasa padat untuk aspal emulsi jenis CMS dapat ditingkatkan hingga 7%. Bahan pengemulsi pada aspal emulsi jenis CMS sering kali memerlukan kerosin yang lebih banyak untuk memperlambat kecepatan mantap. Dengan alasan tersebut, kadar kerosin dapat ditingkatkan asal mutu aspal emulsi yang dihasilkan tidak keluar dari yang dipersyaratkan. (Pd.S-01-1995-03 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik). Kadar fasa padat dalam aspal emulsi jenis CMS harus sedemikian rupa aspal emulsi memiliki kadar residu penyulingan minimum 65%.

2. Fasa Cair

Fasa cair terdiri atas bahan pengemulsi, asam klorida dan kalsium klorida yang dilarutkan dalam air. Kadar masing-masing bahan tersebut dalam aspal emulsi adalah sebagai berikut :

a. Bahan Pengemulsi dan Asam Klorida

Jumlah bahan pengemulsi dan asam klorida dalam aspal emulsi tergantung pada jenis bahan pengemulsi dan jumlah fasa padat dalam aspal emulsi. Jumlah bahan pengemulsi dalam aspal emulsi umumnya antara 0,25% sampai 1,5%. Kadar bahan pengemulsi dan asam klorida optimum diketahui dengan cara membuat beberapa contoh aspal emulsi dengan kadar emulgator dan asam klorida bervariasi di atas dan di bawah kadar bahan pengemulsi dan asam klorida perkiraan. Masing-masing contoh tersebut selanjutnya diuji nilai pengendapan 1 hari (SK SNI M-07-1994-03) dan nilai pengujian saringan (SNI 03-1968-1990). Kadar bahan pengemulsi dan asam klorida optimum adalah kadar yang memberikan nilai pengendapan 1 hari dan pengujian saringan terkecil serta tidak menyebabkan kerusakan yang berlebihan dalam aspal emulsi.

b. Kalsium Klorida

Jumlah kalsium klorida dalam aspal emulsi berkisar antara 0-0,3%. Jumlah kalsium klorida optimum dalam aspal emulsi ditentukan berdasarkan percobaan di laboratorium dengan cara membuat beberapa contoh aspal emulsi dengan variasi kadar kalsium klorida dari 0-0,3%.

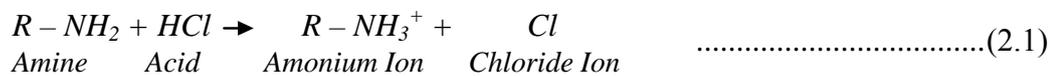
c. Air

Jumlah air dalam aspal emulsi adalah 100% dikurangi berat kadar fasa padat, bahan pengemulsi, asam klorida dan kalsium klorida. Fasa cair dibuat dengan melarutkan bahan pengemulsi, asam klorida dan kalsium klorida dalam air dengan jumlah masing-masing bahan sesuai percobaan.

2.3.2.3 Karakteristik Aspal Emulsi

Aspal emulsi berwujud cair dengan warna coklat kehitaman, termasuk tipe emulsi minyak dalam air dimana bitumen terdispersi dalam air atau dikenal juga sebagai *direct emulsion*.

Beberapa senyawa yang lazim digunakan sebagai *emulsifier* antara lain : *mono amines, amido amines, quaternary ammonium, alkylxylatil amines*, dan *amino amines*. Dari beberapa senyawa ini, perlu direaksikan terlebih dahulu dengan asam sebelum berfungsi. Biasanya digunakan *hydrochloric acid* seperti HCl (asam chlorida). Reaksi yang timbul saat *emulsifier* dicampurkan dengan HCl seperti terlihat pada persamaan :



Dimana :

- R = rantai hidrokarbon dengan 8-22 atom C yang bersifat *lipophilic/hyrophobic*
- NH_3Cl = senyawa bersifat *hydrophilic*.

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa molekul *emulsifier* kationik terdiri atas dua bagian, yaitu bagian yang bersifat polar (NH_3^+ dan Cl) dan bagian yang bersifat non polar (R = rantai hidrokarbon).

Dalam aspal emulsi, partikel-partikel bitumen yang non polar melarutkan bagian non polar *emulsifier*, sedangkan bagian polar *emulsifier* (ion NH_3^+) akan membentuk lapisan menyelimuti partikel-partikel bitumen (Sferb, 1991).

Dengan demikian partikel-partikel bitumen dalam aspal emulsi seolah-olah bersifat polar bermuatan listrik positif (karena pengaruh ion NH_3^+).

Selanjutnya ion Cl akan tertarik oleh permukaan partikel bitumen yang bermuatan listrik positif dan terjadilah ikatan yang kuat antara ion NH_3^+ dengan ion Cl membentuk NH_3Cl .

Kondisi inilah yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan aspal emulsi. Oleh karenanya meskipun bitumen yang bersifat non polar tidak dapat larut dalam air yang bersifat polar, dengan adanya *emulsifier* keduanya dapat bercampur dengan baik dalam bentuk emulsi (Scan Road, 1991).

Menurut Soehartono (2010), ada beberapa sifat aspal emulsi yang perlu diperhatikan :

- Viskositas
- *Storage stability*, dan
- *Adhesivity* dari emulsi.

2.3.2.4 Mekanisme Penggabungan Butiran Aspal Emulsi dan Pelekatan ke Permukaan Agregat

Pada awalnya pengemulsi bebas (*free emulsifier*) pada suatu sistem emulsi diserap ke permukaan agregat, kemudian diikuti oleh *emulsifier* lain sesuai dengan luas permukaan agregat (jumlah agregat). Hal ini mengakibatkan kestabilan butir aspal makin berkurang dan akhirnya menggabung. Diikuti dengan adanya penguapan cairan, mengakibatkan butiran-butiran aspal yang sudah menggabung melekat pada permukaan agregat (Plotnikova, 1993). Faktor-faktor yang mempengaruhi penggabungan butir aspal emulsi antara lain :

1. Penyerapan bahan pengemulsi ke permukaan agregat

Mekanisme ini terjadi akibat adanya muatan listrik berlawanan pada bahan pengemulsi dan permukaan agregat yang dapat mengakibatkan tidak stabilnya butiran aspal dalam emulsi yang kemudian menggabung satu sama lainnya.

2. Pergerakan butiran aspal menuju permukaan agregat

Dalam hal ini butiran aspal yang dikelilingi bahan pengemulsi, bergerak menuju permukaan agregat yang mempunyai muatan listrik berlawanan. Konsentrasi butiran aspal pada permukaan agregat mengakibatkan terjadinya penggabungan dan kemudian menyelimuti permukaan agregat.

3. Perubahan pH

Beberapa jenis agregat seperti batu kapur, *filler* dari batu kapur, atau semen dapat menetralkan asam pada aspal emulsi kationik dan meningkatkan nilai pH. Hal ini dapat mengakibatkan tidak stabilnya emulsi sehingga terjadi penggabungan butiran aspal.

4. Penguapan air

Adanya penguapan air, butiran aspal menjadi terkonsentrasi, sehingga mengakibatkan bergabungnya butiran aspal. Penguapan bisa merupakan mekanisme penggabungan butir yang utama untuk jenis aspal emulsi yang bereaksi sangat lambat.

2.3.2.5 Produksi Aspal Emulsi

Aspal emulsi diproduksi pada instalasi khusus dengan alat utama *colloid mill*. Aspal keras dipanaskan kemudian dipecah dalam *colloid mill* melalui gerakan rotor dan stator, hingga ukuran butir aspal menjadi 2-5 mikron. Kemudian secara simultan ke dalam *colloid mill* dialirkan air yang sudah dicampur dengan bahan pengemulsi (*emulsifier*), larutan asam untuk mengatur pH, dan bahan aditif yang diperlukan. Larutan pengemulsi memberikan muatan listrik yang sama pada permukaan butiran aspal emulsi sehingga butiran aspal emulsi tidak bergabung karena adanya gaya saling tolak menolak. Hal ini memberikan kestabilan aspal emulsi.

2.3.2.6 Penyimpanan Aspal Emulsi

Untuk penyimpanan aspal emulsi dengan jangka waktu yang cukup lama, aspal emulsi yang tersimpan di dalam drum sebaiknya dibalik sesekali untuk menghomogenkan kembali butiran aspal emulsi ataupun dapat juga dengan melakukan pengadukan.

Aspal emulsi dalam penyimpanan dapat dikatakan stabil bila tidak ada indikasi pengendapan. Pengendapan terjadi karena aspal emulsi memiliki kepadatan yang sedikit lebih besar dari air.

Akibat adanya gravitasi, butiran aspal terutama dengan ukuran yang lebih besar akan cenderung tertarik ke bawah. Tipe emulsi yang *slow setting* bisa tetap

stabil dalam jangka waktu 3-6 bulan, bila tidak ada penguapan air, tidak ada kontaminasi elektrolit, dan bahan pengemulsi tidak mengalami perubahan/pengurangan stabilitas. Stabilitas aspal emulsi masih dikatakan memuaskan apabila sedimentasi yang terjadi masih bisa dihomogenkan lagi dengan pengadukan (Muliawan, 2011).

2.3.2.7 Penggunaan Aspal Emulsi

Penggunaan aspal emulsi untuk berbagai kebutuhan dalam konstruksi perkerasan jalan biasanya disesuaikan dengan jenisnya. Misalnya untuk penggunaan jenis aspal emulsi yang *slow setting* digunakan untuk pembuatan campuran dengan gradasi rapat dan untuk jenis aspal emulsi yang *medium setting* digunakan untuk pembuatan campuran dengan gradasi terbuka.

2.3.2.8 Kendala Penggunaan

1. Batasan Waktu

Aspal emulsi punya batas waktu penyimpanan (*storage stability*) sekitar 3 bulan, bila waktu tersebut dilampaui maka aspal emulsi telah *break*, memisah antara air dengan aspalnya, sehingga akan timbul kesulitan dalam aplikasinya dan menggumpal.

2. Rawan Manipulasi

Karena mengandung air 40%, maka aspal emulsi mudah sekali dicampur lagi dengan tambahan air oleh pihak yang tidak bertanggung jawab.

3. Mudah Melunak

Menurut Soehartono (2010), aspal emulsi sulit untuk dinaikkan titik lembeknya karena dalam proses pencampuran aspal dengan *emulsifier* dan air akan terjadi gumpalan.

4. Kesulitan Produksi

Karena jarak angkutan menjadi salah satu kendala penting maka pemusatan produksi aspal emulsi di suatu tempat akan menyulitkan pasokan. Sebaliknya bila di tiap propinsi diadakan unit pencampuran aspal emulsi akan memberatkan investasi karena mesin *Colloid Mill* kapasitas besar sangat mahal harganya, ditambah pasar yang belum tumbuh.

2.4 *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

RAP adalah material hasil pengupasan atau pemrosesan ulang perkerasan yang berisi aspal dan agregat. Material ini timbul jika perkerasan aspal dikupas untuk direkonstruksi, pelapisan ulang, atau untuk mengakses jaringan utilitas yang tertanam di bawahnya. Jika dikupas dan disaring dengan baik, RAP mengandung agregat yang bermutu tinggi dan bergradasi baik (NAPA, 1996).

Pengupasan permukaan perkerasan dengan menggunakan *Cold Milling Machine* dapat mengupas sampai dengan ketebalan 50 mm (2 inchi) dalam sekali jalan. *Full-depth removal* melibatkan proses pengoyakan dan penghancuran perkerasan dengan menggunakan *bulldozer* atau menggunakan penghancur perkerasan *pneumatic*. RAP kemudian diangkat dan dimuat ke dalam truk pengangkutan dengan *front-end loader* dan dikirim ke *plant*, untuk selanjutnya diproses melalui serangkaian kegiatan untuk dijadikan campuran baru yang lain. Selain dipergunakan untuk bahan campuran beraspal, RAP dipergunakan sebagai *base* pada bahu jalan atau ditimbun (NAPA, 1996).

Bahan campuran beraspal yang mengandung RAP harus memenuhi spesifikasi sebagaimana campuran aspal yang terbuat dari material baru. Untuk itu di dalam perencanaan campuran aspal yang mengandung RAP, gradasi dan sifat-sifat fisik agregat dan aspal yang terkandung dalam RAP harus diketahui terlebih dahulu. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan dengan melakukan ekstraksi RAP dengan pelarut tertentu untuk memisahkan agregat dan aspal yang terkandung di dalamnya. Larutan aspal tersebut kemudian didestilasi atau di *recovery* untuk memisahkan aspal dari pelarutnya. Agregat yang diperoleh kemudian diayak untuk mengetahui gradasinya dan aspalnya diuji sifat-sifat fisiknya (NAPA, 1996).

RAP biasanya mengandung agregat dengan ukuran banyak yang lebih kecil sehingga perlu dilakukan penambahan agregat baru yang ukuran dan jumlahnya tertentu agar memenuhi spesifikasi gradasi yang berlaku. Setelah gradasi gabungan dan jumlah RAP ditentukan maka dilanjutkan dengan penentuan aspal baru untuk mencapai sifat-sifat aspal yang diinginkan dalam campuran (NAPA, 1996).

2.5 Penyiapan Agregat

2.5.1 Pengambilan Contoh Agregat

Berdasarkan pada SNI 03-6889-2002 bahwa pengambilan contoh dan pengujian merupakan dua hal yang sangat penting dalam fungsi pengendalian mutu. Data dari pengujian ini merupakan alat untuk menilai kualitas produk siapakah memenuhi syarat atau tidak sehingga pengambilan contoh dan prosedur pengujian harus dilakukan dengan hati-hati dan benar. Tujuan dari pengaturan ini untuk mendapatkan contoh agregat yang mewakili populasi.

Contoh yang akan diambil harus dalam kondisi tidak terjadi segregasi pada suatu timbunan agregat baik dalam bentuk kerucut ataupun trapesium. Sebelum pengambilan contoh harus dilakukan pengukuran agregat nominal dari tumpukan dengan saringan dan ditimbang dengan ketentuan pada Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.4 Minimum Contoh Dari Lapangan Berdasarkan Ukuran Agregat

Ukuran nominal agregat maksimum		Prakiraan jumlah minimum contoh dari lapangan (kg)
Agregat Halus :		
No. 8	(2,36 mm)	10
No. 4	(4,75 mm)	10
Agregat Kasar :		
3/8	(9,5 mm)	10
1/2 inch	(12,5 mm)	15
3/4 inch	(19,0 mm)	25
1 inch	(25,0 mm)	50
1 1/2 inch	(37,5 mm)	75
Ukuran nominal agregat maksimum		Prakiraan jumlah minimum contoh dari lapangan (kg)
2 inch	(50,0 mm)	100
2 1/2 inch	(63,0 mm)	125
3 inch	(75,0 mm)	150
3 1/2 inch	(90,0 mm)	175

Sumber :SNI 03-6889-2002

Selanjutnya pengambilan contoh dari timbunan agregat dengan beberapa bentuk sebagaimana tercantum dalam Lampiran 1.

2.5.2 Tata Cara Pengambilan Sampel Agregat

Berdasarkan SNI 13-6717-2002 tata cara ini membahas tentang ketentuan dan cara penyiapan benda uji agregat dari suatu contoh agregat benda uji yang dihasilkan mempunyai sifat sama dengan contohnya. Lingkup tata cara mencakup, penyiapan benda uji dari contoh yang datang dari lapangan disesuaikan dengan kondisi agregat serta jumlah benda uji yang diperlukan. Material yang akan digunakan dalam benda uji adalah material yang diambil dari satu kelompok material dengan cara tertentu sehingga mewakili kelompok tersebut. Standar ini mengacu pada standar *American Association of State Highways and Transportations Official, Part II Tests 1990(AASHTO T. 24898) Standard Method of Reducing Field Samples of Agregate to Testing Size.*

Dalam pengambilan sampel harus memperhatikan beberapa prinsip yaitu:

1. Keharusan pengambilan contoh agregat yang mewakili kelompok agregat sama pentingnya dengan pengujian itu sendiri.
2. Banyaknya contoh agregat yang diambil dari kelompok agregat di lapangan harus diprogramkan sesuai dengan jenis pengujian yang akan dilaksanakan.
3. Benda uji harus disiapkan sehingga mempunyai sifat yang sama dengan contoh agregat.
4. Sesuai dengan 3) bila contoh agregat terdiri lebih dari satu wadah, maka benda uji harus disiapkan dari campuran seluruh contoh agregat yang ada.
5. Bila dalam contoh agregat hanya mengandung beberapa butir fraksi tertentu sehingga kalau contoh dibagi bagian tersebut tidak dapat terbagi rata, maka contoh harus diuji seluruhnya sebagai satu benda uji.

Selanjutnya penyiapan benda uji dilakukan dengan beberapa metode sebagaimana tercantum dalam Lampiran 2.

2.6 Perencanaan Campuran Aspal Dingin

Campuran aspal dingin adalah campuran bahan perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan tertentu dan dicampur dalam keadaan dingin. Pada campuran aspal dingin untuk menghilangkan kadar air sangat tergantung dari

cahaya sinar matahari pada saat penghamparan di lapangan, karena itu diperlukan pengendalian pelaksanaan yang lebih ditingkatkan.

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Campuran Beraspal Dingin adalah campuran yang terdiri atas kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal cair (*cut-back*) atau aspal emulsi. Campuran beraspal dingin dirancang agar mudah dihampar dan dipadatkan secara dingin setelah disimpan untuk suatu jangka waktu tertentu. Ada 2 kelas campuran beraspal dingin yang digunakan, yaitu kelas C adalah campuran bergradasi semi padat dengan menggunakan aspal cair (*cut-back*) dan kelas E adalah bergradasi terbuka dan sesuai untuk digunakan dengan aspal emulsi.

2.6.1 Komposisi Campuran

Komposisi campuran aspal dingin harus memenuhi resep yang diberikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Ketentuan Campuran Dingin, Komposisi, dan Sifat Campuran

URAIAN		KELAS CAMPURAN			
		C/10	C/20	E/10	E/20
Ukuran butiran nominal maksimum (mm)		9,5	19	9,5	19
Jenis Gradasi		Semi padat	Semi padat	Terbuka	Terbuka
Ketebalan lapisan nominal minimum (mm)		20	40	20	40
GRADASI					
ASTM	(mm)	% Berat Yang Lolos			
1"	25		100		100
¾"	19	100	95 – 100	100	95 – 100
3/8"	9,5	85 – 100	60 – 75	85 – 100	20 – 55
N0. 8	2,36	15 – 25	15 – 25	0 – 10	0 -10
No. 200	0,075	3 – 5	3 – 5	0 – 2	0 – 2
RESEP CAMPURAN					
Kadar aspal residu minimum (% terhadap berat total campuran)		5,6	5,3	4,8	4,2
CAMPURAN RANCANGAN					
Batas kadar bitumen residual (% terhadap berat total campuran)		≥ 5,5	≥ 5,5	3,9 – 6,2	3,3 – 5,5
Kadar efektif bitumen minimum (% terhadap berat total campuran)		≥ 5,0	≥ 4,5	(*)	(*)
Ketebalan efektif film bitumen minimum		10	10	20	20

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

Catatan :

1. (*) : kadar aspal harus dioptimasi.
2. Kadar aspal residu = kadar aspal efektif + % aspal yang diserap agregat.
3. Untuk memperoleh kadar aspal cair, maka kalikan aspal residu dengan :
$$\frac{100}{100 - \% \text{ minyak tanah dalam aspal cair}} \dots\dots\dots(2.2)$$
4. Untuk memperoleh kadar aspal emulsi, maka kalikan kadar aspal residu dengan :
$$\frac{100}{100 - \% \text{ air dalam aspal emulsi}} \dots\dots\dots(2.3)$$
5. Pengujian harus dilaksanakan untuk menentukan Kadar Aspal Residu dan Kadar Aspal Efektif.
6. Kadar aspal residu didefinisikan sebagai kadar aspal yang masih sisa setelah penguapan semua air dan pelunak dari campuran.
7. Kadar aspal efektif didefinisikan sebagai kadar aspal residu dikurangi dengan kadar aspal yang terserap oleh agregat.

2.6.2 Sifat Campuran

Rumusan campuran rancangan (*Design Mix Formula*) yang dibuat harus memenuhi semua sifat-sifat campuran beraspal dingin sesuai dengan Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Persyaratan Campuran Beraspal Dingin

Sifat Campuran	Persyaratan
Stabilitas Marshall pada 22°C, (kg)	Min. 450
Stabilitas sisa setelah perendaman 4 x 24 jam (%)	Min. 60
Tebal film aspal, mikron	Min. 20
Penyelimutan agregat kasar, %	Min. 75

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga

2.7 Pelaksanaan Pengujian

Mengingat fungsi dari perkerasan jalan yang amat penting, maka perlu adanya pemeriksaan terhadap bahan-bahan yang digunakan di laboratorium sehingga dapat dihasilkan suatu konstruksi perkerasan jalan yang baik (sesuai

mutu/kelas jalan yang diminta) dan mempunyai nilai yang tinggi. Pemeriksaan laboratorium yang dilaksanakan pada dasarnya terbagi dalam tiga bagian, yaitu pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal, dan pemeriksaan campuran aspal dan agregat.

2.7.1 Pemeriksaan Agregat

Pada pemeriksaan terhadap agregat dilakukan serangkaian percobaan untuk menentukan antara lain berat jenis, kekuatan dari agregat tersebut. Serta yang paling penting adalah mengetahui gradasi agregat untuk menentukan persentase masing-masing fraksi agregat yang digunakan untuk campuran lapisan perkerasan jalan. Pengujian Agregat berdasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 yang terdiri atas :

1. Analisa Saringan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan mengetahui ukuran butiran agar dapat menentukan suatu komposisi campuran agregat yang memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Berdasarkan analisa saringan maka didapatkan Klasifikasi Agregat yaitu:

- Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4
- Agregat halus yaitu agregat yang lolos melalui saringan No. 4

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) dan berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar, dimana :

- a. Berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- b. Berat jenis kering permukaan (SSD) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
 - d. Penyerapan adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Kemampuan agregat untuk menyerap air dan aspal adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal yaitu *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berguna untuk mengikat partikel agregat menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang tipis. Oleh karena itu, agar campuran yang dihasilkan tetap baik agregat yang porus memerlukan aspal yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kurang porus.
3. Pemeriksaan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin "*Los Angeles*". Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula dalam persentase.
 4. Pemeriksaan Kekekalan Bentuk Agregat

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat kekekalan batu terhadap proses pelarutan dengan cara perendaman di larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat. Klasifikasi ketangguhan batu bila diuji dengan menggunakan larutan natrium sulfat diperoleh index kekekalan maksimum 10% atau bila diuji menggunakan larutan magnesium sulfat diperoleh index kekekalan maksimum 12%.
 5. Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan angka kelekatan agregat terhadap aspal. Yang dimaksud dengan kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang terselimuti aspal terhadap

keseluruhan permukaan. Luas permukaan benda uji yang masih terselimuti aspal minimal 95%.

2.7.2 Pemeriksaan Aspal Emulsi

2.7.2.1 Pengujian kekentalan

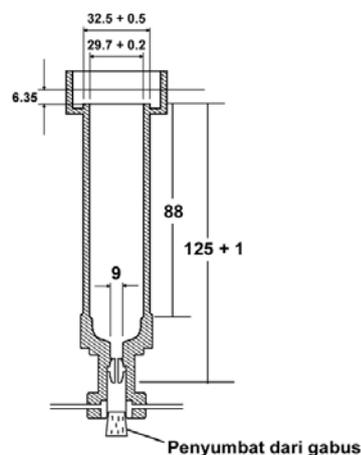
Pengujian dilakukan dengan alat *Saybolt Furol*. Pengujian ini digunakan untuk mengklasifikasi jenis aspal emulsi. Pengujian dilaksanakan pada temperatur 25°C atau 50°C (77 atau 122 °F), tergantung karakteristik kekentalan dari jenis aspal emulsi seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Temperatur Pengujian pada jenis aspal emulsi

Temperatur Pemanasan	Jenis Aspal	
	Anionik	Kationik
25°C	RS1, MS-1, MS-2, MS-2h	CSS
50°C	RS2, HFRS-2	CRS, CMS

Sumber: Dirjen Prasarana Wilayah, 2002

Benda uji diaduk dan dikondisikan kemudian dituangkan kedalam labu viskometer standar melalui lubang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2. Waktu yang diperlukan oleh 60 ml aspal untuk mengalir dicatat dalam detik dan dikonversikan kedalam *centistokes* merupakan viskositas *Saybolt Furol*. Semakin viskos (kental) aspal, semakin lama waktu yang diperlukan untuk mengalir. Nilai viskositas makin besar menunjukkan kekentalan aspal makin kental.



Gambar 2.2 Pengujian kekentalan (Dirjen Prasarana Wilayah, 2002)

2.7.2.2 Pengujian pengendapan

Pengujian ini menentukan persentase aspal emulsi yang mengendap. Pengujian berguna untuk menghindari terjadinya pemisahan aspal dan air pada aspal emulsi yang kurang stabil yang mungkin akan disimpan pada jangka waktu lama.

Prosedur pengujian secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Benda uji masing-masing sebanyak 500 ml dimasukkan ke dalam 2 gelas kimia.
- Gelas ditutup dan disimpan tanpa terganggu pada temperatur ruang selama 5 hari.
- Pindahkan bagian atas dan bagian bawah benda uji ke dalam gelas kimia yang telah diketahui beratnya.
- Benda uji kemudian dipanaskan hingga air menguap; residu aspal emulsi kemudian ditimbang.
- Prosentase pengendapan merupakan selisih antara prosentase residu bagian bawah dengan prosentase residu bagian atas.

2.7.2.3 Pengujian stabilitas penyimpanan

Pengujian ini berguna untuk menentukan stabilitas penyimpanan aspal emulsi dengan waktu pengujian yang lebih cepat. Prosedur pengujian secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Sebanyak masing-masing 500 ml benda uji ditempatkan pada 2 gelas kimia dan disimpan pada temperatur ruang tanpa terganggu selama 24 jam.
- Benda uji seberat 50 gram diambil dari bagian atas dan bawah gelas kimia.
- Masing-masing contoh ditempatkan pada gelas kimia yang telah diketahui beratnya, diaduk dan ditimbang.
- Panaskan benda uji hingga air menguap; residu aspal emulsi kemudian ditimbang.
- Prosen stabilitas penyimpanan merupakan selisih antara prosen residu bagian bawah dengan prosen residu bagian atas.

2.7.2.4 Pengujian klasifikasi

Pengujian klasifikasi merupakan suatu prosedur pengujian untuk jenis aspal kationik CRS dengan memperhatikan penyelimutan aspal terhadap pasir Ottawa. Garis besar pengujian adalah sebagai berikut:

- Sebanyak 461 gram pasir Ottawa kering udara disiapkan di dalam wadah.
- Benda uji aspal emulsi sebanyak 35 gram ditambahkan ke dalam wadah yang berisipasir dan aduk selama 2,50 menit.
- Pada akhir dari pengadukan diambil sebagian campuran tersebut dan ditempatkan pada kertas serap untuk penilaian pengujian.
- Tingkat penyelimutan aspal kationik CRS merupakan persentase dari luas permukaan campuran yang tidak terselimuti aspal terhadap luas permukaan yang diselimuti aspal.

2.7.2.5 Pengujian pemisahan (*demulsibility*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pemisahan dari aspal emulsi jenis mantap cepat (*rapid-setting*). Bahan pemisah yang digunakan *Calcium Chlorida*.

- Tentukan terlebih dahulu persentase residu aspal emulsi dengan cara penyulingan.
- Pada waktu pengujian larutan *Calcium Chlorida* dan air diaduk dengan aspal emulsi terus menerus sampai merata kemudian dituangkan pada saringan untuk menentukan besarnya aspal yang menggumpal.
- Remas dan pecah semua gumpalan dengan pengaduk kemudian dicuci hingga air yang mengalir bersih. Selanjutnya benda uji tertahan pada saringan dikeringkan di dalam oven pada temperatur 163°C.
- Pemisahan (*demulsibility*) merupakan perbandingan antara berat residu pemisahan dengan residu aspal emulsi dari hasil penyulingan. Pemisahan yang tinggi menunjukkan jenis aspal emulsi cepat mantap. Untuk pengujian aspal emulsi kationik sebagai bahan pelarut adalah larutan *sodium dioctyl sulfosuccinate*.

2.7.2.6 Pengujian campuran aspal emulsi dengan semen

Pengujian dimaksudkan untuk menentukan persentasi aspal emulsi yang rusak dengan cara menambahkan semen. Pengujian dilakukan guna menjamin bahwa aspal emulsi tahan terhadap penggumpalan apabila terjadi kontak dengan material halus atau abu batu. Pengujian khususnya untuk jenis aspal emulsi tipe mantap lambat (*Slow Setting*).

- Benda uji sebanyak 100 ml aspal emulsi ditambah dengan air suling sehingga residunya menjadi 55%.
- Tambahkan 50 gram semen pada campuran tersebut dan diaduk, kemudian tambahkan lagi air dan diaduk kembali.
- Tuangkan campuran pada saringan No. 14 (1,40 mm) dan cuci hingga air yang mengalir jernih.
- Keringkan campuran dalam oven dan timbang setelah dingin. Persen emulsi yang rusak adalah perbandingan residu tertahan dalam saringan dengan berat benda uji.

2.7.2.7 Pengujian kelekatan dan daya tahan terhadap air

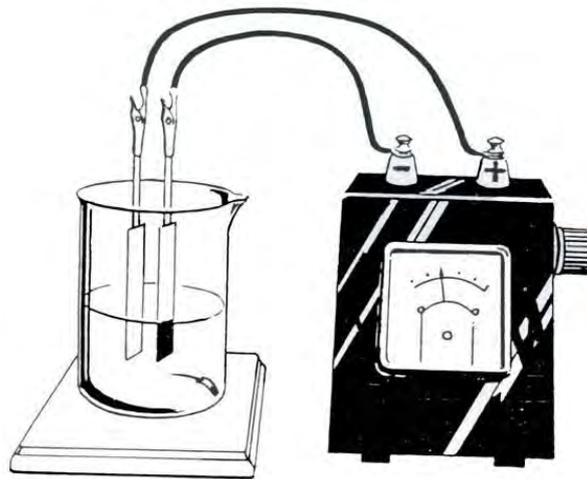
Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui kelekatan aspal emulsi terhadap agregat dan ketahanan terhadap air. Pengujian khususnya untuk jenis aspal emulsi mantap sedang (*Medium-Setting*). Secara garis besar pengujian adalah sebagai berikut:

- Benda uji aspal emulsi dicampur dengan agregat yang telah dilapisi oleh serbuk kapur (*Calcium Carbonate*).
- Sekitar setengah bagian dari campuran ditempatkan pada kertas resap untuk mengamati permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal emulsi.
- Untuk mengetahui daya tahan terhadap air, sisa campuran disemprot air dan dicuci hingga air yang mengalir jernih, kemudian material ditempatkan pada kertas resap dan amati kekekatannya.

2.7.2.8 Pengujian muatan listrik

Pengujian ini ditujukan untuk menentukan jenis aspal emulsi kationik atau anionik. Elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda) di rendam di

dalam benda uji aspal emulsi dan dihubungkan dengan ampere meter, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3. Setelah 30 menit atau setelah aliran listrik turun menjadi 2 miliampere, perhatikan aspal yang menempel pada kedua elektroda. Aspal emulsi kationik, apabila menempel pada katoda dan emulsi anionik, apabila menempel pada anoda.



Gambar 2.3 Pengujian muatan listrik
(Dirjen Prasarana Wilayah, 2002)

2.7.2.9 Pengujian analisa saringan

Pengujian ditujukan untuk menentukan bagian aspal emulsi yang tertahan pada saringan No. 20, merupakan pengujian yang sarannya sama dengan pengujian pengendapan, tetapi tidak terdeteksi pada pengujian tersebut.

Benda uji sebanyak 1000 gram aspal emulsi dituangkan kedalam saringan No.20 (850 μ m). Untuk aspal emulsi anionik, saringan dan aspal tertahan pada saringan dicuci dengan larutan sodium oleat. Untuk aspal emulsi kationik bahan pencuci adalah air suling. Setelah pencucian, saringan dan aspal dikeringkan di dalam oven dan timbang setelah dingin. Persen contoh tertahan saringan adalah perbandingan antara residu dengan benda uji.

2.7.2.10 Pengujian penyulingan

Pengujian dimaksudkan untuk menentukan persentase kadar residu dalam aspal emulsi dengan cara penyulingan. Tata cara pengujian tercantum pada SNI 03- 3642-1994, secara garis besar adalah sebagai berikut :

Benda uji aspal emulsi sebanyak 200 gram didistilasi hingga temperatur 260°C(500°F). Setelah selesai, timbang labu beserta residu dalam kondisi panas. Saring residu dengan saringan No.50 dan tuangkan residu untuk pengujian penetrasi, daktilitas dan berat jenis. Persentase residu adalah perbandingan antara berat residu dengan benda uji.

Penentuan kadar residu dapat pula dilakukan dengan cara penguapan, tetapi cara ini tidak boleh digunakan untuk penentuan mutu aspal emulsi.

2.7.3 Pemeriksaan Campuran Aspal dan Agregat

Menurut Dirjen Bina Marga (2006), pemeriksaan rancangan campuran harus mengikuti ketentuan spesifikasi untuk menjamin agar kadar aspal, rongga udara, stabilitas, kelenturan dan keawetan dapat dipenuhi. Untuk perencanaan campuran beraspal dingin dengan RAP, dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memperoleh gradasi gabungan

Lakukan pemilihan gradasi agregat campuran berdasarkan jenis dan fungsi campuran yang akan digunakan, serta lakukan penggabungan beberapa fraksi agregat dengan salah satu cara (cara analitis atau grafis, dan cara penggabungan beberapa fraksi agregat). Gradasi agregat gabungan dengan memperhitungkan gradasi dari RAP yang telah diekstraksi.

2. Memperkirakan kadar aspal emulsi perkiraan

Kadar aspal nominal yang diperkirakan adalah aspal yang terkandung dalam RAP dan residu dari aspal emulsi setelah kandungan airnya menguap. Kadar aspal efektif adalah kadar aspal total dikurangi dengan kadar aspal yang diserap agregat. Perkiraan awal kadar residu aspal emulsi untuk campuran percobaan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$PA = (0,05 AK + 0,1 AH + 0,5 F) \times 0,7 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan pengertian:

PA = persentase kadar residu aspal emulsi perkiraan terhadap berat kering agregat.

AK = persentase agregat kasar tertahan saringan No. 8.

AH = persentase agregat halus lolos saringan No. 8 tertahan No. 200.

F = persentase bahan pengisi (*filler*) lolos saringan No. 200.

Menurut Dirjen Bina Marga (1999), Bila kadar residu aspal emulsi perkiraan lebih kecil dari persyaratan minimum atau lebih besar dari persyaratan maksimum pada Tabel 2.5, maka diambil kadar minimum atau kadar maksimum sesuai dengan persyaratan sebagai kadar residu aspal emulsi perkiraan.

Berdasarkan persen residu, kadar aspal emulsi perkiraan dapat dihitung dengan persamaan:

$$AE = (PA \times R) \times 100 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan pengertian:

AE = persentase aspal emulsi perkiraan terhadap berat kering agregat.

PA = persentase kadar residu aspal emulsi perkiraan terhadap berat kering agregat.

R = persentase residu aspal emulsi yang digunakan (hasil pengujian)

3. Memperkirakan kadar air penyelimutan

Siapkan agregat kering udara beserta RAP dengan gradasi gabungan sesuai rencana, tambahkan air pada agregat dan RAP dengan interval 1%. Selanjutnya tambahkan aspal emulsi sesuai dengan hasil perkiraan sesuai dengan kadar aspal emulsi perkiraan dan dicampur secara merata selama satu menit dengan alat pengaduk. Dengan menggunakan kipas angin, keringkan campuran dan tentukan kadar air penyelimutan yang terbaik secara visual.

Apabila penyelimutan agregat dan RAP oleh aspal emulsi di atas 50%, langkah selanjutnya dapat dilanjutkan, namun apabila penyelimutan kurang dari 50%, aspal emulsi harus ditolak dan diganti.

4. Memperkirakan kadar air optimum untuk pemadatan

Menentukan kadar air optimum untuk pemadatan adalah dengan membuat contoh briket untuk benda uji Marshall sebanyak tiga buah pada setiap kadar air. Pemadatan untuk pembuatan briket adalah 2 x 75 tumbukan. Siapkan lima variasi kadar air dengan perbedaan 1%, kadar air yang digunakan adalah 3% sampai 7%. Selanjutnya simpan dalam oven dengan temperatur 40°C selama

24 jam, tentukan berat isi kering dan gambarkan dalam grafik hubungan antara kadar air dan nilai kepadatan kering. Kadar air optimum adalah kadar air yang memberikan berat isi kering maksimum.

5. Menentukan kadar aspal optimum

Kadar aspal optimum merupakan kadar residu aspal emulsi ditambah kadar bitumen RAP. Penentuan kadar aspal optimum adalah memvariasikan kadar aspal campuran rencana di atas dan di bawah perkiraan kadar aspal nominal 1% dan 2%. Enam benda uji untuk uji Marshall berupa briket hasil pemadatan dengan 2 x 75 kali tumbukan harus disiapkan untuk masing-masing kadar aspal dengan kadar air total optimum, kadar air total akan berkurang apabila kadar emulsi bertambah.

Langkah pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut:

- a. Biarkan benda uji dalam mold selama 1 x 24 jam pada temperatur ruang dan timbang.
- b. Oven benda uji pada temperatur 38°C selama 1 x 24 jam.
- c. Lakukan pengujian pada briket 3 benda uji dengan metode Marshall pada temperatur ruang.
- d. Rendam 3 benda uji berikutnya selama 2 x 2 x 24 jam (2 x 24 jam pada satu bidang dan 2 x 24 jam pada bidang yang lain) pada temperatur ruang atau *vacum* selama 60 menit di dalam *desicator* pada 100 mmHg dan rendam dalam air selama 60 menit pada temperatur ruang, kemudian lakukan pengujian Marshall.
- e. Langkah selanjutnya setelah diperoleh nilai stabilitas, pelelehan dan nilai volumetrik, gambarkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai kepadatan, stabilitas, rongga dalam campuran, pelelehan dan kehilangan stabilitas setelah di *vacum* 60 menit atau di rendam dalam air selama 4 x 24 jam.
- f. Untuk masing-masing parameter yang tercantum dalam persyaratan campuran beraspal dingin, gambarkan batas-batas spesifikasi ke dalam grafik dan tentukan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan sesuai Tabel 2.6.

- g. Pada grafik tersebut gambarkan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan.
- h. Periksa kadar aspal rencana yang diperoleh, biasanya berada dekat dengan titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh persyaratan.
- i. Pastikan bahwa campuran memenuhi seluruh kriteria dalam persyaratan spesifikasi.
- j. Pastikan rentang kadar aspal campuran beraspal dingin dengan RAP yang memenuhi seluruh kriteria harus melebihi 0,6% sehingga memenuhi toleransi produksi yang cukup realistis (toleransi penyimpangan kadar aspal selama pelaksanaan adalah $\pm 0,3\%$).

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari bahan campuran bila dibebani secara aksial, dan kemudian dapat mengetahui prosentase aspal yang paling baik untuk mendapatkan daya dukung yang optimum dari perkerasan jalan. Pengujian Marshall juga digunakan untuk menentukan ketahanan (*stability*) campuran aspal dengan agregat terhadap kelelahan plastis (*flows*).

- Ketahanan (*stability*) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, yang dinyatakan dalam kilogram atau pound.
- Kelelahan plastis (*flows*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,1 inch.

Uji perendaman Marshall merupakan uji lanjutan dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran beraspal terhadap pengaruh air dan suhu. Tingkat durabilitas campuran dapat dilihat dari nilai Stabilitas Sisa rendaman Marshall yang merupakan hasil bagi nilai stabilitas Marshall setelah perendaman selama 4 x 24 jam pada temperatur ruang atau divacum selama 60 menit di dalam *desicator* pada 100 mm Hg dan direndam dalam air selama 60 menit pada temperatur ruang dengan nilai stabilitas Marshall kondisi standar. Semakin besar nilai stabilitas sisa semakin besar durabilitas campuran tersebut. (Dirjen Bina Marga, 2006)

2.8 Analisa Biaya

Analisa biaya pada penelitian ini berdasarkan Panduan Analisa Harga Satuan (PAHS) Direktorat Jenderal Bina Marga 2010. Analisa harga satuan menguraikan suatu perhitungan harga satuan bahan dan pekerjaan secara teknis dirinci secara detail berdasarkan suatu metode kerja dan asumsi-asumsi yang sesuai dengan yang diuraikan dalam spesifikasi teknik, gambar desain, dan komponen harga satuan.

Harga satuan pekerjaan terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung. Komponen biaya langsung terdiri atas upah, bahan, dan alat. Secara garis besar penjelasan mengenai komponen biaya langsung adalah sebagai berikut:

1. Komponen Bahan.

Digunakan dalam mata pembayaran tertentu tergantung pada jenis pekerjaannya. Faktor yang mempengaruhi harga satuan komponen bahan antara lain adalah kualitas, kuantitas, dan lokasi asal bahan. Faktor-faktor yang berkaitan dengan kuantitas dan kualitas bahan harus ditetapkan dengan mengacu kepada spesifikasi umum yang berlaku.

2. Komponen Alat.

Material bahan yang dikerjakan. Disamping peralatan mekanis, hampir semua nomor mata pembayaran memerlukan alat bantu manual, seperti: pacul, sekop, gerobak dorong, keranjang, timba dan lain-lain, namun karena harganya relatif kecil maka untuk memudahkan analisa, alat bantu manual tidak dianalisa (dalam contoh perhitungan analisa harga satuan diisi dengan angka nol). Jika beberapa jenis peralatan digunakan dalam mata pembayaran tertentu, maka produktivitas peralatan ditentukan oleh peralatan utama yang digunakan dalam mata pembayaran tersebut.

3. Komponen Tenaga Kerja.

Digunakan dalam mata pembayaran tertentu tergantung pada jenis pekerjaannya. Faktor yang menentukan harga satuan komponen tenaga kerja antara lain: jumlah tenaga kerja dan tingkat keahlian tenaga kerja. Penetapan jumlah dan keahlian tenaga kerja mengikuti produktivitas peralatan utama.

Sedangkan komponen biaya tidak langsung terdiri atas biaya umum atau *overhead* dan keuntungan. Biaya *overhead* dan keuntungan belum termasuk pajak-pajak yang harus dibayarkan, besarnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku (Dirjen Bina Marga, 2010)

2.9 Penelitian Terdahulu

1. Emrizal (2009), dalam penelitian berjudul “Pemanfaatan Material Daur Ulang Aspal Beton Untuk Material Aspal Beton Campuran Dingin Memakai Aspal Emulsi”, didapatkan bahwa karakteristik dan sifat-sifat struktur material dari bahan bongkaran aspal beton sesuai hasil pemeriksaan ekstraksi sudah mengalami degradasi dengan kadar aspal pada RAP adalah 4,8%. Penelitian ini memanfaatkan material eks garukan jalan Yogyakarta-Prambanan (BP-03). Aspal emulsi yang dipakai adalah jenis CSS-1H. Campuran dingin aspal beton dengan kadar RAP sebesar 90% untuk campuran gradasi agregat rapat (DGEM) yang diekstraksi, dan 95% untuk campuran gradasi agregat rapat (DGEM) tanpa ekstraksi menghasilkan nilai stabilitas Marshall > 800 .

Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah :

- a. Bahan RAP yang dipergunakan berasal dari hasil pengupasan lapisan perkerasan Jalan Ir. Soekarno, Tabanan.
 - b. Aspal yang digunakan berupa aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2.
 - c. Jenis campuran aspal dingin yang digunakan adalah campuran gradasi terbuka.
 - d. Penelitian ini juga meninjau penggunaan RAP dari segi biaya.
2. I Wayan Muliawan (2011), dalam penelitian berjudul “Analisis Karakteristik dan Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)”, didapatkan bahwa berdasarkan perbandingan nilai rata-rata, standar deviasi dan nilai t untuk kategori perbandingan lama waktu *curing*, peningkatan stabilitas CAED tanpa penambahan dan penambahan 2 % semen dari 3 hari ke 6 hari memberikan hasil yang terbaik. Sementara untuk perbandingan

tanpa dan penambahan 2 % semen untuk waktu *curing* yang sama, stabilitas CAED yang terbaik terdapat pada waktu *curing* 12 hari.

Perbedaan dengan penelitian ini adalah :

- a. Bahan agregat yang dipergunakan adalah campuran antara agregat alam dan hasil pengupasan lapisan perkerasan (RAP) dari Jalan Ir. Soekarno, Tabanan.
 - b. Aspal yang digunakan berupa aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2.
 - c. Jenis campuran aspal dingin yang digunakan adalah campuran gradasi terbuka.
 - d. Penelitian ini juga meninjau penggunaan RAP dari segi biaya.
3. Esti Peni Kusmarini (2012), melakukan penelitian laboratorium untuk analisis penggunaan RAP sebagai bahan campuran beraspal Panas *Asphaltic Concrete* pada Ruas Jalan Gemekan – Jombang dan Pandaan Malang dengan menggunakan Aspal Pen 60-70. Hasilnya adalah komposisi optimal penambahan agregat kasar sebesar 6%, agregat sedang sebesar 25%, agregat halus sebesar 48%, semen sebesar 1%, dan aspal pen 60-70 sebesar 5,2%. Komposisi optimal penggunaan RAP dari segi teknis dan biaya adalah sebesar 20% RAP dan 80% material baru dengan KAO campuran 5,9%. Penghematan yang dicapai sebesar 10,6%.

Perbedaan dengan penelitian ini adalah :

- Penelitian ini menganalisa penggunaan RAP sebagai bahan campuran aspal dingin.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap identifikasi masalah Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) di Bali dan lebih mengoptimalkan manfaat dari RAP tersebut berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari penelitian ini diharapkan terdapat keuntungan campuran beraspal dingin (CMA) bergradasi terbuka dengan aspal emulsi dan RAP dibandingkan dengan campuran beraspal dingin (CMA) bergradasi terbuka dengan aspal emulsi tanpa RAP dari segi biaya.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan dalam penggunaan RAP untuk keperluan rehabilitasi dan pemeliharaan jalan dengan melihat karakteristik aspal dan agregat RAP.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah hasil pengupasan perkerasan jalan Ir. Soekarno, Tabanan yang diambil dari *stockpile* Bina Marga di Laboratorium Pengujian Balai Pelaksanaan Jalan Nasional VIII Denpasar dan aspal yang digunakan untuk campuran adalah aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2.

3.3 Tahapan dan Metode Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap pertama terdiri dari pengumpulan data dan uji laboratorium untuk mengetahui karakteristik material campuran aspal dingin. Tahap kedua terdiri dari modifikasi campuran perkerasan dengan material RAP agar memenuhi spesifikasi teknis dengan penambahan *fresh material* (agregat dan aspal emulsi), uji campuran hasil modifikasi dan analisis biaya. Selanjutnya hasil akhir yang diperoleh dari analisis ini untuk mendapatkan campuran yang optimal dari kinerja teknis dan segi biaya sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Penetapan judul penelitian dengan mengkaji latar belakang permasalahan dengan gambaran umum dilanjutkan dengan merumuskan permasalahan yang akan diteliti serta tujuan.
2. Tinjauan Pustaka, melakukan kajian teori serta Norma, Standar, Peraturan Dan Manual (NSPM) yang menunjang pemecahan permasalahan yang akan dibahas. Kajian ini meliputi pembahasan tentang bagaimana mendapatkan campuran modifikasi yang paling optimal berdasarkan kinerja teknis dan segi biaya sesuai dengan Spesifikasi Teknis yang berlaku.
3. Pengumpulan data terdiri dari :

- a. Data Sekunder

Data Sekunder berupa data yang diperoleh dari instansi pemerintah yang terkait dengan pembahasan yang akan dilaksanakan. Data-data yang diperoleh dari sini adalah:

- Harga satuan upah pekerja di Provinsi Bali.
- Harga material di Provinsi Bali.
- Data produktivitas dan sewa alat yang digunakan dalam proses pencampuran aspal di Provinsi Bali.

- b. Data Primer

Data Primer yaitu berupa data yang diperoleh secara langsung dari lokasi tempat penelitian serta dari hasil pengamatan di laboratorium. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data laboratorium dari sampel RAP dan sampel material baru yang akan digunakan dalam campuran. Data ini berupa karakteristik penyusun RAP dan karakteristik material baru sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010 untuk bahan penyusun campuran beraspal dingin bergradasi terbuka. Data-data yang diperoleh dari sini adalah:

- Karakteristik RAP Sampel yang diambil di Ruas Jalan Ir. Soekarno, Tabanan.
- Karakteristik Material Baru.
- Metode Perencanaan Campuran Aspal Dingin.

4. Pengolahan dan Analisis Data

Melakukan analisis data yang berkaitan dengan perhitungan seberapa besar persentase RAP yang dapat digunakan. Proses pengolahan dan analisisnya adalah sebagai berikut:

1. Mengekstraksi RAP agar terpisah aspal dan agregatnya sehingga diketahui kadar aspal yang terkandung di dalam RAP.
2. Melakukan pengujian gradasi dan sifat fisik agregat RAP yang didapat.
3. Melakukan pengujian sifat fisik aspal RAP yang didapat.
4. Melakukan pengujian gradasi dan sifat fisik agregat baru.
5. Melakukan pengujian sifat fisik aspal emulsi jenis kationik tipe CMS-2.
6. Melakukan re-gradasi terhadap gradasi agregat RAP dengan menambahkan agregat baru dengan jumlah dan ukuran tertentu agar memenuhi amplop gradasi.
7. Melakukan penghitungan penambahan jumlah emulsi jenis kationik tipe CMS-2 yang dipergunakan dalam campuran.
8. Pembuatan benda uji.
9. Pengujian Marshall.

5. Analisa Biaya

Dari pengolahan dan analisis data akan didapat diketahui campuran yang optimal dari segi kinerja teknis. Dari komposisi agregat dan aspal baru untuk memenuhi spesifikasi teknis tersebut kemudian dilakukan analisa biaya dengan memasukkan komponen-komponen biaya material, tenaga kerja, peralatan dan komponen biaya *overhead* seperti biaya uji material baru maupun RAP dan biaya perencanaan campuran.

Biaya-biaya yang diperhitungkan dalam penelitian ini untuk analisis biaya apabila menggunakan RAP dengan material baru adalah sebagai berikut:

1. Biaya pengujian RAP dan material baru.
 - Biaya ekstraksi material RAP.
 - Biaya pengujian karakteristik aspal.
 - Biaya pengujian karakteristik agregat.
 - Pengujian karakteristik campuran.

2. Pembuatan dan Produksi Campuran Aspal dengan proses *In-Situ Recycling*.

- Biaya pengadaan dan transportasi material baru dari *quarry* ke lokasi pekerjaan.
- Biaya pengadaan dan transportasi aspal baru ke lokasi pekerjaan.
- Biaya produksi campuran aspal di lokasi pekerjaan.

Proses ekstraksi hanya dilakukan pada saat penelitian dan pada saat pembuatan *Job Mix Formula* (JMF). Sedangkan pada saat pencampuran lapangan tidak diperlukan proses ekstraksi lagi, cukup mengikuti *Job Mix Formula* yang telah ditetapkan.

Rangkaian kegiatan penelitian secara ringkas ditampilkan dalam bentuk bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.4 Pengujian dan Perancangan Benda Uji

Dalam penelitian ini alat-alat yang digunakan berasal dan tersedia di Laboratorium Pengujian Balai Pelaksanaan Jalan Nasional VIII Denpasar. Jenis dan standar pengujian agregat yang dipakai dalam pengujian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.

Sebelum membuat benda uji untuk Marshall test, terlebih dahulu diperiksa kesesuaian material yang dipergunakan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Apabila belum sesuai maka dilakukan penyesuaian, antara lain :

- a. Pencucian material apabila terdapat kotoran di dalamnya.
- b. Penambahan agregat baru dengan jumlah dan ukuran tertentu.

Untuk menentukan kadar aspal optimum, kadar aspal campuran harus divariasikan dengan nominal 1% dan 2 % di atas dan di bawah perkiraan kadar aspal. Benda uji yang diminta 6 (enam) buah benda uji, untuk masing-masing kadar aspal

Penambahan prosentase RAP (+5%) dilakukan jika pada sifat-sifat fisik campuran variasi pertama memenuhi Spesifikasi yang disyaratkan. Sedangkan pengurangan prosentase RAP (-10%) dilakukan jika pada sifat-sifat fisik campuran variasi pertama tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik campuran tersebut dilakukan dengan pengujian Marshall. Jumlah benda uji didasarkan pada kebutuhan sesuai dengan tujuan penelitian ini. Perkiraan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1.

3.5 Kesimpulan dan Rekomendasi

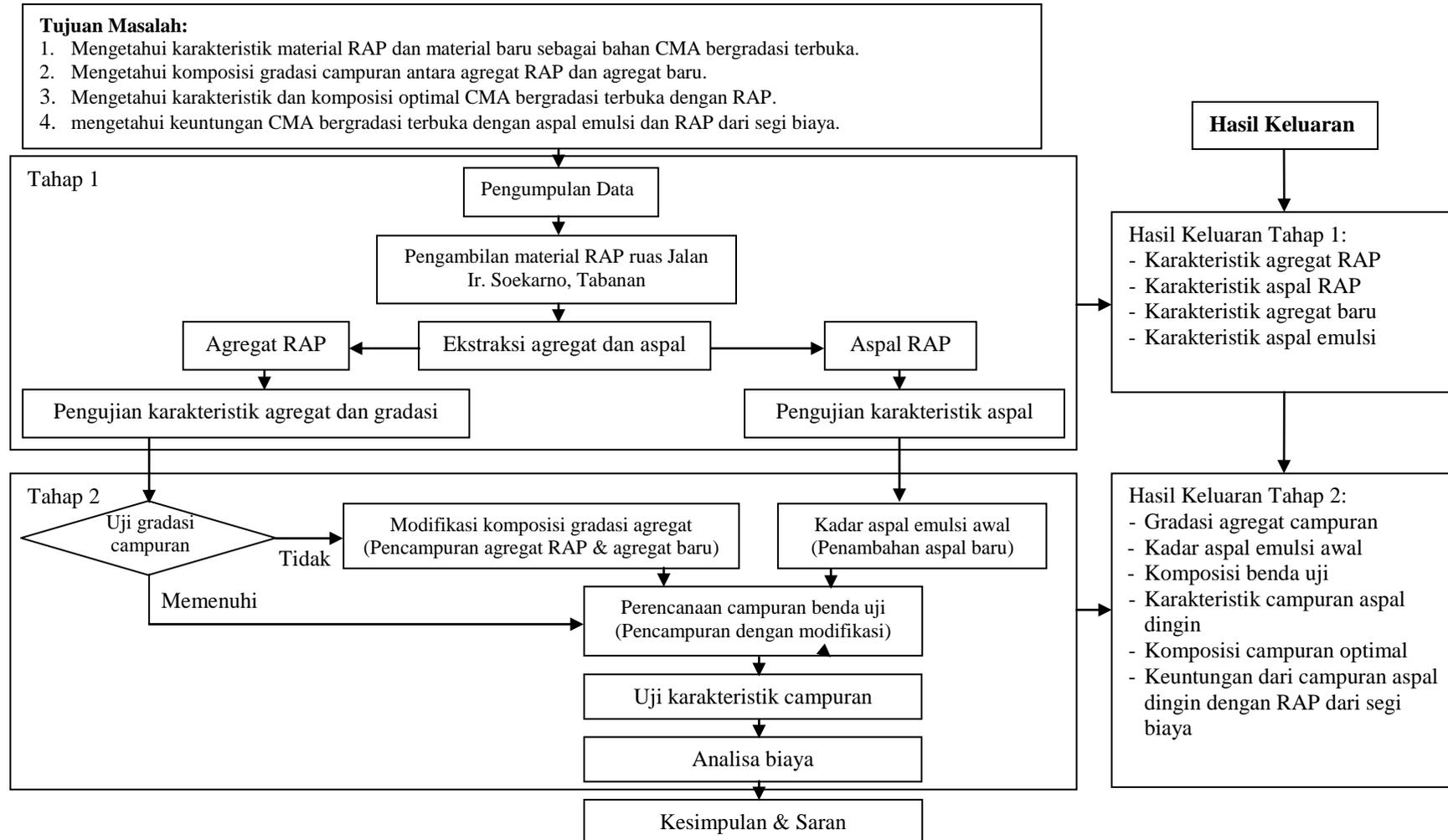
Kesimpulan berisikan hasil yang dicapai dari penelitian ini yang berupa komposisi perkerasan campuran aspal dingin yang menggunakan bahan pengikat aspal emulsi jenis kationik dan RAP hasil pengerukan lapisan permukaan yang sifat-sifat fisik campurannya memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010.

Dari kesimpulan yang didapatkan dibuat rekomendasi kepada pemangku kepentingan untuk selanjutnya dilakukan percobaan di lapangan untuk mengetahui tingkat keberhasilannya.

Tabel 3.1 Rincian Jumlah Benda Uji

Jenis Pengujian	Campuran RAP I					Jumlah
	Uji Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	
Uji Perendaman Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	K.aspal 5 3 B.Uji	15
Total						30
Jenis Pengujian	Campuran RAP II					Jumlah
	Uji Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	
Uji Perendaman Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	K.aspal 5 3 B.Uji	15
Total						30
Jenis Pengujian	Campuran RAP III					Jumlah
	Uji Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	
Uji Perendaman Marshall	K.aspal 1 3 B.Uji	K.aspal 2 3 B.Uji	K.aspal 3 3 B.Uji	K.aspal 4 3 B.Uji	K.aspal 5 3 B.Uji	15
Total						30
Total seluruh benda uji						90

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 4 DATA PENELITIAN

4.1 Karakteristik Material RAP untuk Campuran Aspal Dingin

Material RAP yang telah didapatkan harus diuji untuk mengetahui karakteristik dari material penyusunnya. Karena material RAP adalah campuran dari aspal dan agregat, maka harus diekstraksi terlebih dahulu untuk memisahkan antara agregat dan aspal yang mengikat agregat tersebut.

Aspal hasil ekstraksi masih tercampur dengan zat pelarut yang digunakan untuk mengekstrak RAP. Untuk memisahkan aspal dari zat pelarutnya dilakukan dengan proses *recovery* dengan sistem destilasi.

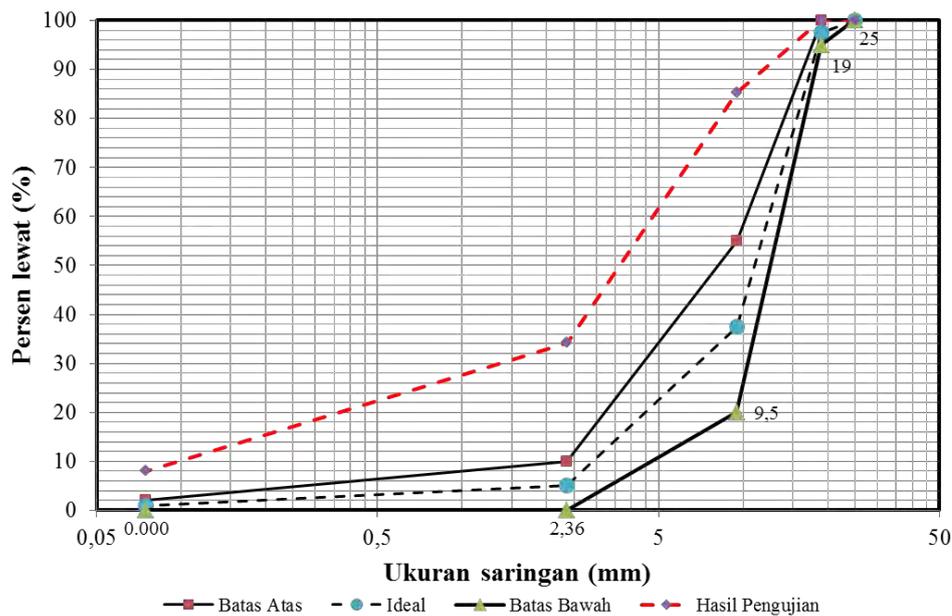
4.1.1 Agregat RAP

Agregat hasil ekstraksi tersebut dilakukan pengujian meliputi pengujian berat jenis serta penyerapan agregat kasar dan agregat halus, kekekalan bentuk terhadap Na_2SO_4 , abrasi, pengujian setara pasir, kelekatan aspal dan gradasi. Pengujian dilakukan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik Agregat RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan

No.	Uraian	Nilai Pengujian	Persyaratan
1.	Berat Jenis agregat kasar	2,596	Selisih
2.	Berat Jenis agregat halus	2,474	Maks. 0,2
3.	Penyerapan agregat kasar(%)	1,06	Maks. 3
4.	Penyerapan agregat halus (%)	0,80	Maks. 3
5.	Kekekalan bentuk terhadap Na_2SO_4 (%)	4,50	Maks. 12
6.	Abrasi (%)	23,40	Maks. 40
7.	Pengujian setara pasir (%)	66,85	Min. 50
8.	Kelekatan Aspal (%)	> 95	Min. 95

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 4.1 Gradasi Agregat RAP Jl. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

4.1.2 Aspal RAP

Aspal dari hasil *recovery* dilakukan pengujian meliputi kadar aspal, penetrasi, titik lembek dan daktilitas. Hasil dari pengujiannya disajikan pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Karakteristik Aspal RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan

No.	Uraian	RAP	Persyaratan
1.	Kadar aspal dalam campuran (%)	5,84	-
2.	Penetrasi pada 25 °C (mm)	30	60-70
3.	Titik Lembek (°C)	64	≥ 48
4.	Daktilitas pada 25 °C (cm)	10,5	≥ 100

Sumber: Hasil Pengujian

4.2 Karakteristik Material Baru untuk Campuran Aspal Dingin

Material baru yang ditambahkan ke dalam campuran aspal dingin terdiri atas agregat baru dan aspal baru. Karena keterbatasan waktu dan dana maka untuk memperoleh data agregat baru, langkah awal yang dilakukan adalah mencari data hasil pengujian agregat baru yang telah dilakukan di Laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) 8 Denpasar sebagai acuan dalam menentukan

lokasi agregat yang akan dicari. Dari data tersebut material agregat baru yang akan digunakan adalah yang berasal dari *quarry* yang berada di Tabanan. Material dari *quarry* tersebut selanjutnya akan diuji kembali karakteristiknya untuk menentukan apakah material baru tersebut dapat digunakan dalam penelitian ini. Aspal baru yang akan digunakan adalah aspal emulsi jenis CMS-2.

4.2.1 Agregat Baru

Pengujian yang dilakukan pada agregat baru meliputi pengujian berat jenis serta penyerapan agregat kasar dan agregat halus, kekekalan bentuk terhadap Na_2SO_4 , abrasi, pengujian setara pasir, kelekatan aspal dan gradasi dilakukan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun Tahun 2010. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4 dan Gambar 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.3 Karakteristik Agregat Baru

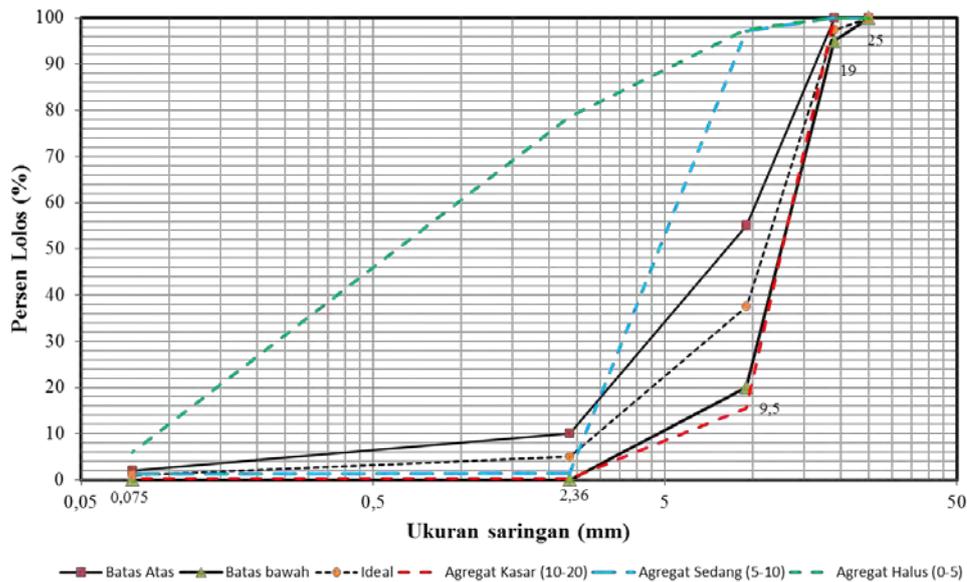
No.	Uraian	Nilai Pengujian	Persyaratan
1.	Berat Jenis Agregat Kasar (gram/cm ³)	2,669	Selisih Maks. 0,2
2.	Berat Jenis Agregat Halus (gram/cm ³)	2,705	
3.	Penyerapan Agregat Kasar(%)	1,18	Maks. 3
4.	Penyerapan Agregat Halus (%)	0,47	Maks. 3
5.	Kekekalan bentuk terhadap Na_2SO_4 (%)	4,95	Maks. 12
6.	Abrasi (%)	20,11	Maks. 40
7.	Pengujian setara pasir (%)	82,79	Min. 50
8.	Kelekatan Aspal (%)	>95	Min. 95

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 4.4 Perhitungan Gradasi Agregat Baru

URAIAN	UKURAN SARINGAN					
	Inch	1"	3/4"	3/8"	#8	#200
mm		25	19	9,5	2,36	0,075
Titik Kontrol						
- Max		100,0	100,0	55,0	10,0	2,0
- Ideal		100,0	97,5	37,5	5,0	1,0
- Min		100,0	95,0	20,0	0,0	0,0
Gradasi Agregat						
- Agregat Kasar (10-20)		100,0	100,0	15,46	0,33	0,33
- Agregat Sedang (5-10)		100,0	100,0	97,11	1,45	1,29
- Agregat Halus (0-5)		100,0	100,0	97,46	78,54	5,97

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.2 Gradasi Agregat Baru
(Hasil Perhitungan, 2014)

4.2.2 Aspal Baru

Pengujian yang dilakukan terhadap aspal emulsi jenis CMS-2 meliputi kekentalan, pengendapan, muatan listrik, analisa saringan, penyulingan (kadar residu), penetrasi dan daktilitas. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Karakteristik Aspal Emulsi CMS-2

No.	Uraian	Aspal Emulsi CMS-2	Persyaratan
1.	Kekentalan (Viskositas)	52,64	50-450
2.	Penyimpanan 1 hari (%)	0,35	Maks. 1
3.	Muatan listrik	Positif	Positif
4.	Analisa saringan (%)	0,00	Maks. 0,10
5.	Penyulingan (Kadar residu) %	66,05	Min. 65
6.	Penetrasi 25° 100 gr. 5 detik	119,17	100-250
7.	Daktilitas (cm)	>100	Min. 40

Sumber: Hasil Pengujian

BAB 5

ANALISIS DATA

5.1 Analisis Karakteristik Material Campuran Aspal Dingin

Penelitian ini diawali dengan pengujian karakteristik dari agregat RAP dan agregat baru untuk mengetahui kelayakan dari material tersebut ditinjau dengan persyaratan yang telah ditetapkan di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun Tahun 2010. Setelah diketahui karakteristik agregat RAP dan agregat baru, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap aspal RAP dan aspal emulsi CMS-2.

5.1.1 Karakteristik Agregat RAP dan Agregat Baru

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.3, agregat RAP dan agregat baru memenuhi seluruh persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, sehingga dapat dipergunakan sebagai bahan campuran beraspal dingin.

Pada pengujian berat jenis serta penyerapan agregat kasar dan agregat halus untuk agregat RAP didapat nilai berat jenis agregat kasar 2,596 gram/cm³, berat jenis agregat halus 2,474 gram/cm³, penyerapan agregat kasar 1,06% dan penyerapan agregat halus 0,8%. Sedangkan untuk agregat baru didapat nilai berat jenis agregat kasar 2,699 gram/cm³, berat jenis agregat halus 2,705 gram/cm³, penyerapan agregat kasar 1,18% dan penyerapan agregat halus 0,47%. Dalam pengujian berat jenis agregat halus dan kasar memiliki persyaratan selisih maksimal antara berat jenis agregat kasar dan halus adalah 0,2 gram/cm³, yang menunjukkan bahwa agregat tersebut memiliki berat jenis yang hampir sama dan bisa dipastikan berasal dari sumber yang sama. Persyaratan nilai maksimal penyerapan agregat kasar dan halus adalah 3%. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar dan halus memiliki nilai dibawah 3% yang menunjukkan bahwa agregat memiliki daya serap yang rendah sehingga aspal yang terserap ke dalam agregat menjadi berkurang dan menghasilkan film aspal yang lebih tebal.

Dari pengujian kekekalan bentuk agregat kasar terhadap Na²SO⁴ didapat nilai 4,5% untuk agregat RAP dan 4,95% untuk agregat baru dengan persyaratan maksimal 12%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat baru dan agregat RAP memiliki ketahanan terhadap disintegrasi yaitu pelapukan agregat akibat pengaruh

kimiawi seperti kelembaban dan perbedaan temperatur. Dari pengujian abrasi diketahui nilai abrasi agregat kasar untuk material RAP adalah 23,40% dan 20,11% untuk agregat baru dengan persyaratan maksimal 40%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat baru dan agregat RAP memiliki ketahanan terhadap degradasi yaitu kehancuran agregat akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan, maupun beban lalu lintas.

Dari pengujian setara pasir diketahui agregat RAP memiliki nilai 66,85% dan 82,79% untuk agregat baru dengan persyaratan maksimal 50%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat baru maupun agregat RAP memiliki tingkat kebersihan yang cukup baik. Dari pengujian kelekatan aspal diketahui nilai kelekatan aspal terhadap agregat baru dan agregat RAP lebih besar dari 95% dengan persyaratan minimal 95%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat baru maupun agregat RAP merupakan agregat *hidrophobik* (tidak menyukai air) yaitu agregat yang memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi.

5.1.2 Analisis Karakteristik Aspal RAP dan Aspal Baru

Dari Tabel 4.2 menunjukkan bahwa hanya pengujian titik lembek dari aspal RAP yang memenuhi persyaratan aspal sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap aspal baru berupa aspal emulsi CMS-2. Dari Tabel 4.5 menunjukkan bahwa hasil pengujian terhadap aspal emulsi CMS-2 memenuhi seluruh persyaratan aspal emulsi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, sehingga dapat dipergunakan sebagai bahan campuran beraspal dingin.

Dari pengujian penetrasi dan daktilitas hasil *recovery* dari aspal RAP diketahui nilai penetrasi aspal RAP sebesar 30 dmm dan 10,5 cm untuk nilai daktilitas aspal RAP. Persyaratan nilai penetrasi untuk aspal RAP sebesar 60-70 dmm dan nilai daktilitas lebih besar atau sama dengan 100 cm. Hal ini menunjukkan bahwa aspal RAP mengalami penurunan kualitas akibat dari beban lalu lintas maupun cuaca selama digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

Pada pengujian kekentalan diketahui nilai kekentalan aspal emulsi CMS-2 sebesar 52,64 dengan persyaratan 50-450. Hal ini menunjukkan bahwa aspal emulsi CMS-2 sesuai klasifikasi aspal emulsi mantap sedang. Hasil pengujian

pengendapan dari aspal emulsi diketahui nilai pengendapan selama 1 hari sebesar 0,35% dengan persyaratan maksimal 1%. Hal ini menunjukkan bahwa aspal emulsi CMS-2 memiliki stabilitas penyimpanan yang baik. Hasil pengujian muatan listrik dari aspal emulsi CMS-2 diketahui bermuatan listrik positif, dimana sesuai dengan klasifikasi aspal emulsi jenis kationik. Hasil pengujian analisa saringan dari aspal emulsi CMS-2 diketahui nilai persentase lolos saringan sebesar 0% dengan persyaratan maksimal 0,1%. Hal ini menunjukkan bahwa aspal emulsi CMS-2 memiliki tingkat ikatan antara aspal dan air yang baik. Hasil pengujian penyulingan (kadar residu) dari aspal emulsi CMS-2 diketahui nilai kadar residu aspal sebesar 66,05% dengan persyaratan maksimal 65%. Hal ini menunjukkan bahwa aspal emulsi CMS-2 sesuai klasifikasi aspal emulsi mantap sedang. Hasil pengujian penetrasi hasil residu dan daktilitas hasil residu aspal emulsi CMS-2 diketahui sebesar 119,17 dmm untuk nilai penetrasi dan nilai daktilitas lebih besar dari 100 cm. Persyaratan nilai penetrasi untuk aspal mantap sedang sebesar 100-250 dmm dan nilai daktilitas minimal 40 cm. Hal ini menunjukkan bahwa aspal emulsi CMS-2 sesuai klasifikasi aspal emulsi mantap sedang.

5.2 Analisis Gradasi Campuran Aspal Dingin

Hasil gradasi dari agregat RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan yang telah diekstrak dapat dilihat pada Gambar 4.1 dimana terlihat bahwa gradasi dari RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan tidak masuk ke dalam amplop gradasi dan umumnya berada di luar batas atas. Maka penelitian dilanjutkan dengan pengujian karakteristik dari agregat baru hingga didapat data gradasi dari agregat baru. Hasil gradasi dari agregat baru dapat dilihat pada Gambar 4.2 dimana terlihat bahwa gradasi agregat baru tidak masuk ke dalam amplop gradasi. Dari data gradasi agregat RAP dan agregat baru, dihitung gradasi gabungan yang memenuhi amplop gradasi campuran aspal dingin bergradasi terbuka sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun Tahun 2010.

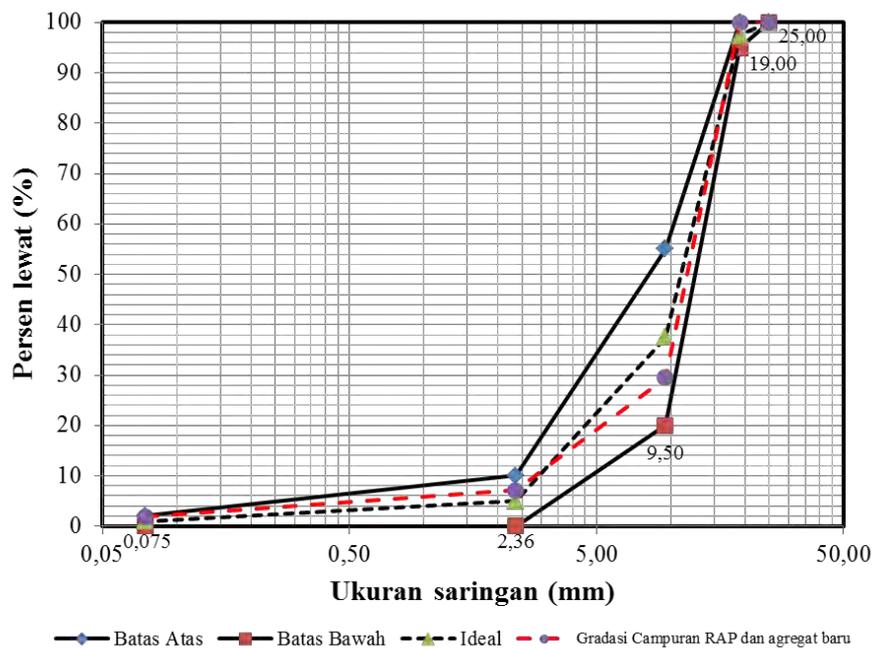
Penelitian sebelumnya dilakukan dengan campuran agregat bergradasi rapat, sedangkan penelitian ini dilakukan dengan campuran agregat bergradasi terbuka. Sehingga perlu dihitung komposisi agregat baru dan agregat RAP setelah

diekstraksi yang memenuhi amplop gradasi. Perhitungan gradasi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Perhitungan Komposisi Agregat RAP dan Agregat Baru

URAIAN		UKURAN SARINGAN				
Inch mm		1" 25,00	3/4" 19,00	3/8" 9,50	# 8 2,36	# 200 0,075
Data Gradasi Agregat						
- Agregat RAP Setelah Ekstraksi		100,00	100,00	85,30	34,23	8,09
- Agregat Kasar (10-20)		100,00	100,00	15,46	0,33	0,33
- Agregat Sedang (5-10)		100,00	100,00	97,11	1,45	1,29
- Agregat Halus (0-5)		100,00	100,00	100,00	73,47	6,42
Kombinasi Agregat						
- Agregat RAP	20,0%	20,00	20,00	17,06	6,85	1,62
- Agregat Kasar (10-20)	80,0%	80,00	80,00	12,37	0,26	0,26
- Agregat Sedang (5-10)	0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Agregat Halus (0-5)	0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Campuran	100,0%	100,00	100,00	29,43	7,11	1,88
Titik Kontrol						
Max		100,0	100,0	55,0	10,0	2,0
Min		100,0	95,0	20,0	0,0	0,0
Gradasi Ideal		100,0	97,5	37,5	5,0	1,0

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 5.1 Gradasi Campuran Agregat RAP 20% dan 80% Agregat Baru (Hasil Perhitungan, 2014)

Dari Tabel 5.1, agregat RAP setelah diekstraksi yang dapat ditambahkan dalam campuran sebesar 20%. Maka dicoba melakukan pencampuran agregat dengan komposisi RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan 80% agregat baru. Agregat baru yang ditambahkan berupa fraksi agregat kasar (10-20). Komposisi gradasi campuran pada Tabel 5.1 selanjutnya disebut sebagai sampel 1. Jika sampel 1 memenuhi persyaratan sifat campuran aspal dingin, selanjutnya proporsi RAP akan ditingkatkan 5% sampai didapat campuran dengan komposisi RAP yang paling optimum yang masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

5.3 Analisis Karakteristik Campuran Aspal Dingin

Setelah diketahui gradasi campuran agregat yang memenuhi amplop gradasi, selanjutnya dihitung jumlah aspal emulsi yang akan ditambahkan dalam campuran aspal dingin. Dari hasil pengujian aspal emulsi yang akan ditambahkan telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran aspal dingin sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.

5.3.1 Kadar Aspal Emulsi Awal

Penentuan Kadar aspal emulsi awal di dalam campuran (AE) dilakukan berdasarkan pada gradasi agregat campuran, rumus yang dipergunakan sesuai rumus 2.4 dan 2.5 adalah sebagai berikut :

$$AE = (P / R) \times 100$$

Sumber: Pedoman Perencanaan Bubur Aspal Emulsi (Pedoman Teknik No.026/T/BM/1999)

Dimana :

AE = % Aspal Emulsi perkiraan terhadap berat total campuran

R = % residu Aspal Emulsi yang digunakan (hasil pengujian)

P = $(0,05A+0,1B+0,5C) \times 0,7$

Dimana :

P = % kadar residu aspal emulsi perkiraan terhadap berat total campuran.

A = % agregat tertahan saringan No. 8 (2,36 mm).

B = % agregat lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm).

C = % agregat lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Untuk detail perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Kadar residu aspal emulsi perkiraan (P) RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan agregat baru 80% (Sampel 1). Berdasarkan Tabel 5.1 diperoleh data sebagai berikut :

$$A = (100 - 7,11)\% = 92,89\%$$

$$B = (7,11 - 1,88)\% = 5,23\%$$

$$C = (100 - 92,89 - 5,23)\% = 1,88\%$$

$$P = (0,05 \times 92,89\% + 0,1 \times 5,23\% + 0,5 \times 1,88\%) \times 0,7 \\ = 4,27\%$$

$$AE = (4,27\% / 66,05\%) \times 100 = 6,5\%$$

Berdasarkan perhitungan kadar aspal emulsi awal, maka dapat dilakukan perhitungan kadar aspal rencana untuk pembuatan benda uji:

$$AE - 2\% : 6,5\% - 2\% = 4,5\%$$

$$AE - 1\% : 6,5\% - 1\% = 5,5\%$$

$$AE : 6,5\%$$

$$AE + 1\% : 6,5\% + 1\% = 7,5\%$$

$$AE + 2\% : 6,5\% + 2\% = 8,5\%$$

Perhitungan gradasi dan kadar aspal emulsi awal untuk pembuatan benda uji dengan proporsi RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan selanjutnya disajikan dalam Lampiran 3 dan Lampiran 4. Nilai kadar aspal emulsi awal yang telah diperoleh dengan rentang 4,5%-8,5%, akan menjadi batasan yang berlaku untuk penggunaan kadar aspal dalam penelitian ini.

5.3.2 Perencanaan Komposisi Benda Uji

Setelah didapatkan kadar aspal rencana maka selanjutnya dilakukan perhitungan benda uji untuk tes penyelimutan agregat (*Coating Test*) dan tes Marshall. Sebelum menentukan berat benda uji Marshall, dilakukan percobaan awal untuk menentukan berat benda uji yang akan digunakan. Dari percobaan awal tersebut, diperoleh Berat campuran benda uji Marshall yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1.100 gram dan 500 gram untuk benda uji tes penyelimutan agregat.

Perencanaan komposisi benda uji dilakukan dengan cara pencampuran Material RAP, fraksi agregat baru dan aspal emulsi. Kadar aspal rencana yang telah didapatkan pada perhitungan pada butir 5.3.1 merupakan kadar aspal total, sehingga aspal baru yang ditambahkan merupakan selisih antara kadar aspal rencana dengan kadar aspal yang terkandung dalam RAP. Perhitungan komposisi benda uji Marshall dan tes penyelimutan agregat (*Coating Test*) dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai dengan Tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.2 Komposisi Benda Uji Tes Penyelimutan Agregat

Material OGEM E/20		6,5%			Kebutuhan Air (gram) Untuk benda uji 500gr	1%	5
		% camp	gram	Kumulatif			
Material baru							
- Agregat Kasar (10-20)	80%	74,80%	374,0	374,0			
Material RAP		20%	18,70%	93,5			
*Aspal RAP	5,84%		5,8				
Aspal Baru				26,7			
Aspal Total			6,5%	32,5			
			100,0%	500			

Sumber : Hasil Perhitungan

Pengujian penyelimutan agregat (*Coating Test*) dilaksanakan dengan menggunakan agregat kering yang sudah diproporsikan sesuai gradasi (500 gr), kemudian dilembabkan secara merata dengan beberapa variasi kadar air dan dicampur dengan aspal emulsi. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan kadar air optimum pada variasi kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik yang diobservasi secara visual sebesar 2%.

Tabel 5.3 Komposisi Benda Uji Marshall dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan Material Baru 80% (Sampel 1)

Material OGEM E/20		4,5%			5,50%			6,5%			7,50%			8,5%		
		% camp	gram	Kumulatif												
Material baru																
- Agregat Kasar (10-20)	80%	76,40%	840,4	840,4	75,60%	831,6	831,6	74,80%	822,8	822,8	74,00%	814,0	814,0	73,20%	805,2	805,2
Material RAP	20%	19,10%	210,1	1050,5	18,90%	207,9	1039,5	18,70%	205,7	1028,5	18,50%	203,5	1017,5	18,30%	201,3	1006,5
*Aspal RAP	5,84%		12,8			12,8			12,8			12,8			12,8	
Aspal Baru			36,7			47,7			58,7			69,7			80,7	
Aspal Total		4,5%	49,5	1100,0	5,5%	60,5	1100,0	6,5%	71,5	1100,0	7,5%	82,5	1100,0	8,5%	93,5	1100,0
		100,0%	1100		100,0%	1100		100,0%	1100		100,0%	1100		100,0%	1100	

62

Tabel 5.4 Detail Komposisi Benda Uji Marshall dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan Material Baru 80% (Sampel 1)

Material OGEM (% Lolos)		4,50%			5,5%			6,5%			7,50%			8,5%		
		% Agg	gram	% Camp	% Agg	gram	% Camp									
1"	80,00%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4"	80,00%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	12,37%	67,63%	710,46	64,59%	67,63%	703,02	63,91%	67,63%	695,58	63,23%	67,63%	688,14	62,56%	67,63%	680,70	61,88%
# 8	0,26%	12,11%	127,20	11,56%	12,11%	125,87	11,44%	12,11%	124,54	11,32%	12,11%	123,21	11,20%	12,11%	121,87	11,08%
# 200	0,26%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pan	0,00%	0,26%	2,74	0,25%	0,26%	2,71	0,25%	0,26%	2,68	0,24%	0,26%	2,65	0,24%	0,26%	2,63	0,24%
Berat Agregat Baru	80,00%	840,4	76,4%	80,00%	831,6	75,6%	80,00%	822,8	74,8%	80,00%	814,0	74,0%	80,00%	805,2	73,2%	
Berat Agregat RAP	20,00%	210,1	19,1%	20,00%	207,9	18,9%	20,00%	205,7	18,7%	20,00%	203,5	18,5%	20,00%	201,3	18,3%	
Berat Aspal RAP	5,84%	12,85	1,17%	5,84%	12,85	1,17%	5,84%	12,85	1,17%	5,84%	12,85	1,17%	5,84%	12,85	1,17%	
Berat Aspal Baru		36,7			47,7			58,7			69,7			80,7		
Berat Aspal Total		49,5	4,5%		60,5	5,5%		71,5	6,5%		82,5	7,5%		93,5	8,5%	
Berat Total Benda Uji		1100,0	100,0%													

Sumber : Hasil Perhitungan

- Sedangkan perhitungan komposisi benda uji dengan menggunakan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dan Material Baru 75% (Sampel 2) dapat dilihat pada Lampiran 5.

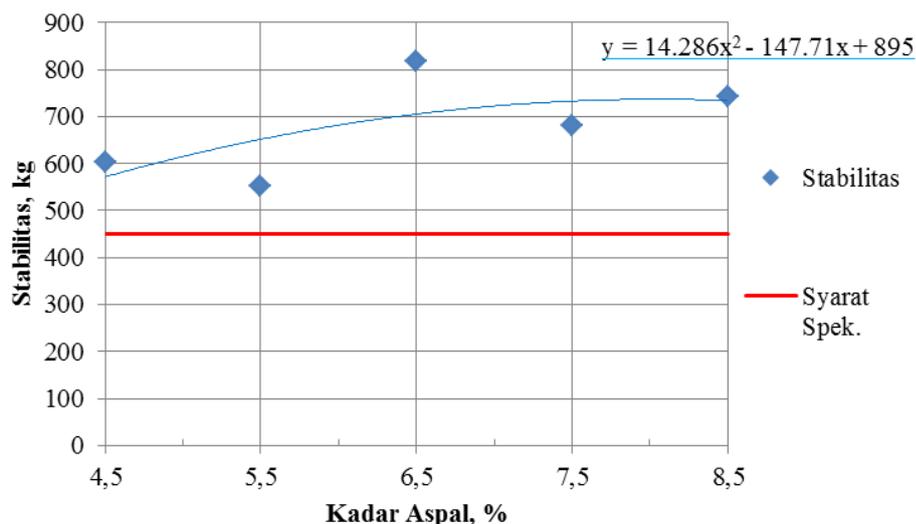
5.3.3 Hasil Pengujian Marshall

Setelah diketahui komposisi benda uji dan kadar air optimum dari pengujian penyelimutan agregat, selanjutnya dilakukan pengujian Marshall. Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari bahan campuran bila dibebani secara aksial, dan kemudian dapat diketahui kadar aspal optimum untuk mendapatkan daya dukung yang optimum dari perkerasan jalan.

Kadar aspal optimum merupakan kadar residu aspal emulsi ditambah kadar bitumen RAP. Penentuan kadar aspal optimum adalah dengan memvariasikan kadar aspal campuran rencana di atas dan di bawah perkiraan kadar aspal nominal 1% dan 2%.

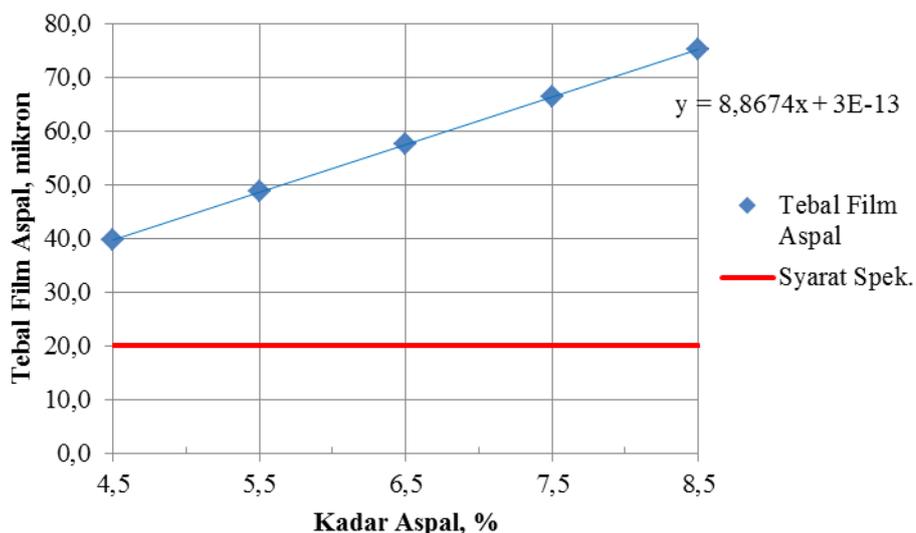
a. Komposisi Campuran 20% RAP dan 80% Material Baru (Sampel 1)

Komposisi ini adalah komposisi awal dari campuran beraspal dingin yang dibuat untuk mengetahui karakteristik dari campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan. Pengujian ini hanya berlaku pada rentang kadar aspal 4,5%-8,5%. Detail perhitungan karakteristik campuran dengan metode Marshall meliputi stabilitas, tebal film aspal dan stabilitas sisa disajikan pada Lampiran 6. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.2 sampai dengan Gambar 5.3 dan Tabel 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.2 Grafik Stabilitas terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP
Jl. Ir. Soekarno, Tabanan
(Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal campuran, nilai stabilitas mengalami tren peningkatan. Nilai stabilitas memenuhi syarat pada semua rentang kadar aspal emulsi awal.



Gambar 5.3 Grafik Tebal Film Aspal terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal campuran, nilai tebal film aspal semakin meningkat. Nilai tebal film aspal memenuhi syarat pada semua rentang kadar aspal emulsi awal.

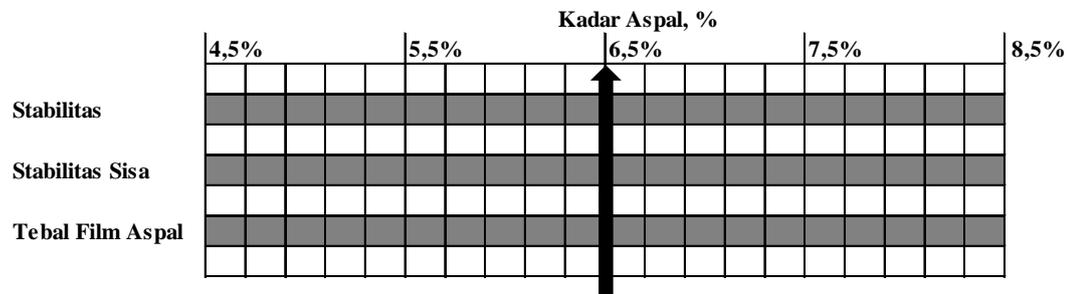
Tabel 5.5 Stabilitas Sisa terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan

No.	Kadar Aspal Emulsi Awal (%)	Nilai Stabilitas Sisa (%)	Spek (%)
1.	4,5	71,97	60
2.	5,5	73,81	60
3.	6,5	79,39	60
4.	7,5	67,38	60
5.	8,5	97,81	60

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 5.5 nilai stabilitas sisa dari campuran memenuhi persyaratan pada semua rentang kadar aspal rencana.

Dari hasil perhitungan diatas, bisa diketahui nilai Kadar Aspal Optimum dari campuran tersebut. Nilai dari Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Gambar 5.4 dibawah ini.

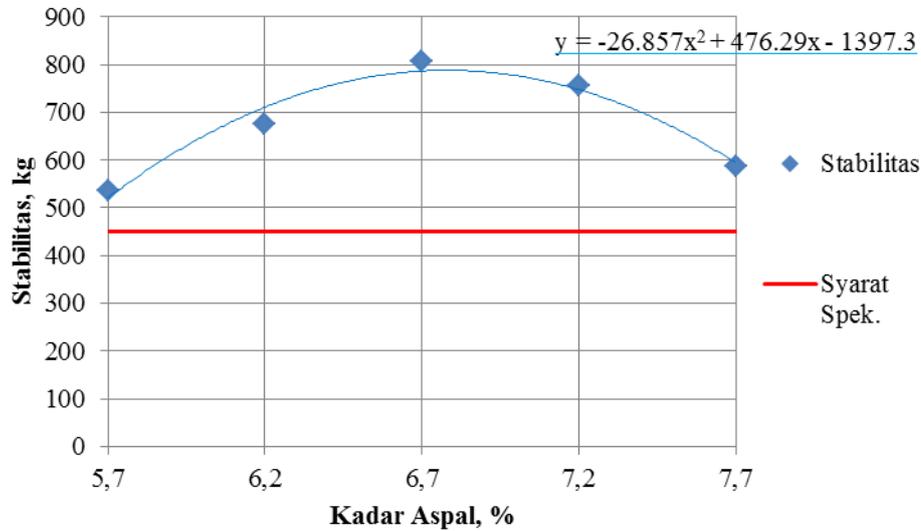


Gambar 5.4 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Dingin Bergradasi Terbuka dengan 20% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.4 diatas menunjukkan bahwa pada campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% terdapat kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan. Nilai Kadar Aspal Optimum ditetapkan dari nilai tengah dalam rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan spesifikasi, yaitu sebesar 6,5% yang terdiri dari 5,3% aspal emulsi dan 1,2% aspal RAP. Untuk itu, kadar RAP akan dinaikkan lagi sebesar 5% untuk mengetahui apakah persentase RAP yang telah digunakan dalam campuran sebelumnya dapat dinaikkan. Untuk itu persentase RAP yang akan digunakan setelahnya adalah 25%.

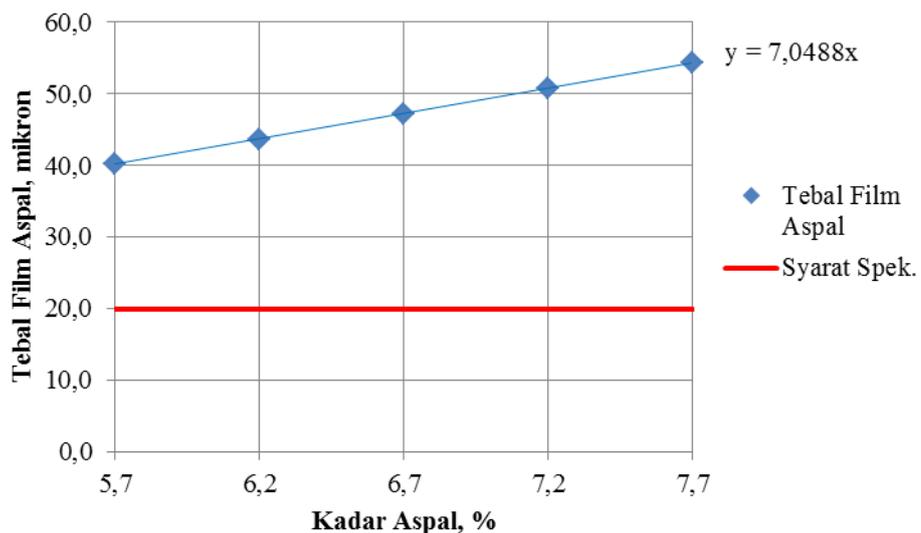
b. Komposisi Campuran 25% RAP dan 75% Material Baru (Sampel 2)

Setelah didapat hasil perhitungan dengan komposisi campuran RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan material baru 80%, dengan hasil KAO berada pada kadar aspal, Maka selanjutnya akan dibuat benda uji dengan komposisi 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan dan 75% material baru. Pengujian ini hanya berlaku pada rentang kadar aspal 5,7%-7,7%. Detail perhitungan karakteristik campuran dengan metode Marshall meliputi stabilitas, tebal film aspal dan stabilitas sisa disajikan pada Lampiran 7. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.5 sampai dengan Gambar 5.6 dan Tabel 5.6 di bawah ini.



Gambar 5.5 Grafik Stabilitas terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.5 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal campuran, nilai stabilitas akan semakin meningkat, dimana pada rentang kadar aspal diatas 6,7% nilai stabilitas akan menurun. Nilai stabilitas memenuhi syarat pada semua rentang kadar aspal emulsi awal.



Gambar 5.6 Grafik Tebal Film Aspal terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal campuran, nilai tebal film aspal semakin meningkat. Nilai tebal film aspal memenuhi syarat pada semua rentang kadar aspal emulsi awal.

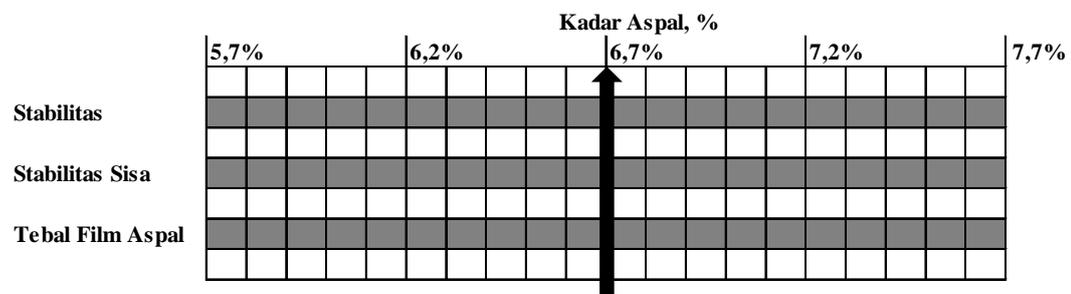
Tabel 5.6 Stabilitas Sisa terhadap Kadar Aspal Campuran dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan

No.	Kadar Aspal Emulsi Awal (%)	Nilai Stabilitas Sisa (%)	Spek (%)
1.	5,7	84,45	60
2.	6,2	86,19	60
3.	6,7	92,76	60
4.	7,2	96,82	60
5.	7,7	87,20	60

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 5.6 nilai stabilitas sisa dari campuran memenuhi persyaratan pada semua rentang kadar aspal rencana.

Dari hasil perhitungan diatas, bisa diketahui nilai Kadar Aspal Optimum dari campuran tersebut. Nilai dari Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Gambar 5.7 dibawah ini.



Gambar 5.7 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Dingin Bergradasi Terbuka dengan 25% RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.7 diatas menunjukkan bahwa pada campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% terdapat kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan. Nilai Kadar Aspal Optimum ditetapkan dari nilai tengah dalam rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan

spesifikasi, yaitu sebesar 6,7% yang terdiri dari 5,2% aspal emulsi dan 1,5% aspal RAP. Untuk itu, kadar RAP akan dinaikkan lagi sebesar 5% untuk mengetahui apakah persentase RAP yang telah digunakan dalam campuran sebelumnya dapat dinaikkan. Untuk itu persentase RAP yang akan digunakan setelahnya adalah 30%.

c. Komposisi Campuran 30% RAP dan 70% Material Baru (Sampel 3)

Pada perencanaan campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 30% dan material baru 70% (Sampel 3), ditemukan gradasi campuran tidak memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010. Perhitungan gradasi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.7 di bawah ini.

Jadi dalam penelitian ini, campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dan material baru 75% (Sampel 2) merupakan komposisi campuran maksimal yang menghasilkan kadar aspal optimum sebesar 6,7% yang terdiri dari 5,2% aspal emulsi dan 1,5% aspal RAP.

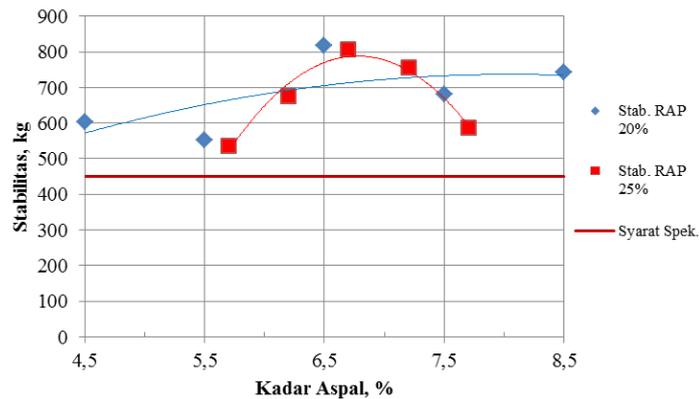
Tabel 5.7 Perhitungan Gradasi Agregat RAP 30% dan Agregat Baru 70%

URAIAN	UKURAN SARINGAN				
	1" 25,00	3/4" 19,00	3/8" 9,50	# 8 2,36	# 200 0,075
Data Gradasi Agregat					
- Agregat RAP Setelah Ekstraksi	100,00	100,00	85,30	34,23	8,09
- Agregat Kasar (10-20)	100,00	100,00	15,46	0,33	0,33
- Agregat Sedang (5-10)	100,00	100,00	97,11	1,45	1,29
- Agregat Halus (0-5)	100,00	100,00	100,00	73,47	6,42
Kombinasi Agregat					
- Agregat RAP 30,0%	30,00	30,00	25,59	10,27	2,43
- Agregat Kasar (10-20) 70,0%	70,00	70,00	10,82	0,23	0,23
- Agregat Sedang (5-10) 0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Agregat Halus (0-5) 0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Campuran 100,0%	100,00	100,00	36,41	10,50	2,65
Titik Kontrol					
Max	100,0	100,0	55,0	10,0	2,0
Min	100,0	95,0	20,0	0,0	0,0
Gradasi Ideal	100,0	97,5	37,5	5,0	1,0

Sumber: Hasil Perhitungan

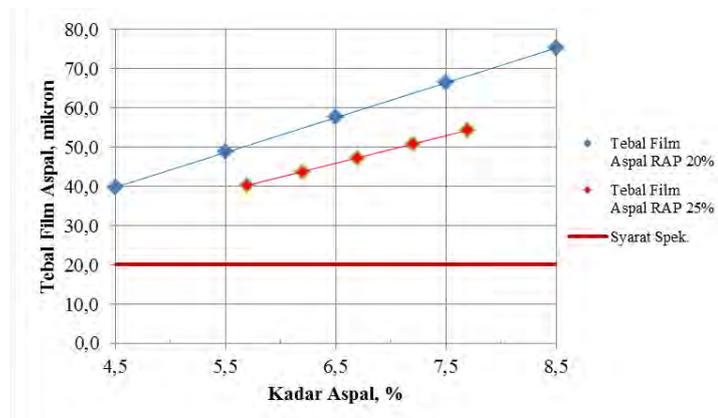
5.3.4 Rangkuman Hasil Pengujian Marshall

Dari hasil pengujian campuran aspal dingin jenis aspal emulsi CMS-2 dengan material agregat baru yang digunakan dalam penelitian ini, dirangkum hasilnya dalam satu grafik untuk persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% (Sampel 1) dan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% (Sampel 2) ditampilkan pada Gambar 5.8 sampai dengan Gambar 5.10.



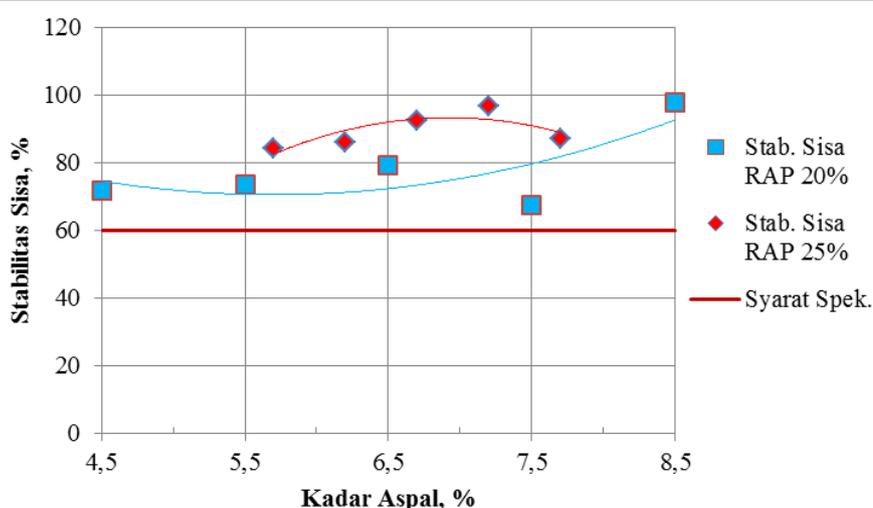
Gambar 5.8 Stabilitas Marshall Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2 (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.8 menunjukkan nilai stabilitas Marshall untuk campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan aspal emulsi CMS-2 mempunyai nilai yang membesar seiring bertambahnya kadar RAP, hal ini dikarenakan peningkatan nilai viskositas aspal campuran yang digunakan. Peningkatan viskositas aspal meningkatkan stabilitas Marshall (NAPA, 1996).



Gambar 5.9 Tebal Film Aspal Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2 (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.9 menunjukkan nilai tebal film aspal untuk campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan aspal emulsi CMS-2 mempunyai nilai yang menurun seiring bertambahnya kadar RAP, hal ini dikarenakan adanya peningkatan luas permukaan agregat dalam campuran yang digunakan. Agregat RAP yang digunakan merupakan agregat halus, sedangkan agregat baru yang digunakan merupakan agregat kasar. Dalam perhitungan, nilai luas permukaan agregat berbanding terbalik dengan nilai tebal film aspal.



Gambar 5.10 Stabilitas Sisa Campuran Aspal Dingin Sampel 1 dan 2 (Hasil Perhitungan, 2014)

Gambar 5.10 menunjukkan nilai persentase stabilitas sisa untuk campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan aspal emulsi CMS-2 mempunyai nilai yang meningkat seiring bertambahnya kadar RAP, hal ini dikarenakan peningkatan nilai viskositas aspal campuran yang digunakan. Peningkatan viskositas aspal meningkatkan stabilitas Marshall dari benda uji yang telah direndam.

Dengan membandingkan hasil pengujian sifat-sifat fisik campuran aspal dingin jenis aspal emulsi CMS-2 pada kadar 20% dan 25% maka dapat dituliskan bahwa nilai kadar aspal optimum pada campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan agregat baru 80% adalah 6,5% yang terdiri dari 5,3% aspal emulsi dan 1,2% aspal RAP. Sedangkan

pada campuran aspal dingin bergradasi terbuka dengan persentase RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dan agregat baru 75%, nilai kadar aspal optimum adalah 6,7% yang terdiri dari 5,2% aspal emulsi dan 1,5% aspal RAP. Jadi dengan bertambahnya jumlah RAP, nilai kadar aspal optimum mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan luas permukaan agregat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya RAP.

5.4 Analisis Biaya Penggunaan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan

Dalam penelitian ini dianalisa bagaimana mengelola material RAP yang sebelumnya belum dapat dimanfaatkan secara maksimal menjadi dapat dimanfaatkan dengan optimal. Untuk mengetahui apakah material RAP dapat dimanfaatkan secara optimal maka harus membandingkan antara campuran beraspal dingin tanpa adanya penambahan RAP dibanding dengan campuran beraspal dingin dengan menggunakan RAP. Faktor-faktor pembanding dalam perhitungan dapat berupa:

1. Biaya pengujian laboratorium.
2. Biaya bahan campuran beraspal dingin.
3. Biaya pencampuran.
4. Biaya penghampanan.
5. Biaya pemadatan

Untuk perbandingan biaya pencampuran, penghampanan dan pemadatan antara campuran beraspal dingin yang mengandung RAP dan campuran beraspal dingin yang tidak mengandung RAP dalam penelitian ini tidak diperhitungkan karena dianggap sama. Sehingga perhitungan yang dilakukan hanya pada Analisa biaya pengujian laboratorium dan bahan campuran beraspal dingin.

5.4.1 Perhitungan Biaya Pengujian Laboratorium

Dari komposisi campuran beraspal panas yang mengandung RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% yang memenuhi seluruh persyaratan sifat-sifat campuran beraspal dingin selanjutnya dilakukan analisa biaya. Dalam analisa biaya ini

dibandingkan antara campuran dengan menggunakan 25% RAP yang selanjutnya disebut Campuran A dan 0% RAP yang selanjutnya disebut Campuran B.

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang seragam di dalam penelitian ini perlu adanya pengendalian mutu. Di dalam pengendalian mutu itu sendiri ada beberapa hal yang harus selalu diperhatikan, baik dari segi agregat maupun aspal. Untuk mengendalikan mutu, harus diterapkan pengujian agregat pada setiap frekuensi tertentu untuk menjamin kualitas dari agregat sesuai dengan spesifikasi yang ada dan sesuai dengan *Design Mix Formula* (DMF) maupun *Job Mix Formula* (JMF) yang telah ditetapkan. Di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 disebutkan bahwa di dalam pengendalian mutu agregat, frekuensi minimum pengujian untuk pengendalian mutu harus sesuai dengan Tabel 5.8 di bawah ini:

Tabel 5.8 Pengendalian Mutu

Bahan dan Pengujian	Frekwensi pengujian
Aspal Emulsi:	
Aspal Emulsi berbentuk drum	$\sqrt[3]{}$ dari jumlah drum
Aspal Emulsi curah	Setiap tangki aspal
Agregat :	
- Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Setiap 5.000 m ³
- Gradasi agregat yang ditambahkan ke tumpukan	Setiap 1.000 m ³
- Gradasi agregat dari penampung dingin (<i>cold bin</i>)	Setiap 250 m ³ (min. 2 pengujian per hari)
- Nilai setara pasir (<i>sand equivalent</i>)	Setiap 250 m ³
- Kadar air agregat	Setiap 250 m ³
Campuran :	
- Gradasi dan kadar aspal	Setiap 200 ton (min. 2 pengujian per hari)
- Kepadatan, stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, rongga dalam campuran pd. 75 tumbukan	Setiap 200 ton (min. 2 pengujian per hari)
- Campuran Rancangan (<i>Mix Design</i>) Marshall	Setiap perubahan agregat/rancangan

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010

Dari Tabel 5.8 di atas, analisa biaya untuk pengujian laboratorium dapat dilakukan dengan persyaratan yang harus dipenuhi. Jumlah campuran aspal dingin yang akan dibuat diasumsikan sebanyak 5.000 ton. Dengan asumsi berat volume

campuran aspal dingin sebesar 2,23 ton/m³, apabila dikonversikan kedalam volume akan menjadi 2.242 m³.

Untuk perhitungan analisa biaya dalam penelitian ini, digunakan frekuensi 1 kali pengujian gradasi dan kadar aspal per 1000 ton RAP yang digunakan. Dengan asumsi berat isi dari material RAP adalah 2,48 ton/m³ atau dilakukan tiap 403 m³ agregat RAP (untuk penyederhanaan dilakukan tiap 400 m³). Untuk material baru uji gradasinya setiap 1000 m³. Untuk perhitungan secara detail dapat dilihat pada Lampiran 8 dan Lampiran 9. Hasil analisa biaya pengujian laboratorium untuk campuran A adalah sebesar Rp. 15.730.000,-. Sedangkan biaya pengujian untuk campuran B adalah sebesar Rp. 10.185.000,-. Sehingga komponen biaya pengujian untuk campuran A dan B masing-masing adalah Rp. 7.015,58/m³ dan Rp. 4.542,51/m³.

5.4.2 Perhitungan Biaya Produksi Campuran Aspal Dingin

Proses pencampuran aspal dingin dengan RAP pada prinsipnya sama dengan pencampuran aspal dingin tanpa RAP. Perbedaannya hanya pada bahan yang dipakai. Biaya produksi campuran A adalah Rp. 1.542.467,45/m³. Sedangkan biaya produksi campuran B adalah Rp. 1.963.043,51/m³. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada Lampiran 10 dan Lampiran 11.

Dari hasil perhitungan biaya penggunaan RAP diketahui biaya pengujian dan biaya produksi campuran aspal dingin dengan RAP maupun tanpa RAP. Selanjutnya kedua biaya tersebut dijumlahkan dan dibandingkan dari segi komposisi campuran dengan RAP dan tanpa RAP. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.9 Perbandingan Harga Campuran Beraspal Dingin

No.	Uraian	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Asumsi Produksi (m ³)	Harga Satuan (Rp)		Jumlah (Rp)
					Biaya Pengujian	Biaya Produksi	
1	E/20 dengan 25% RAP	m ³	1	2240	7.015,58	1.542.467,45	1.549.483,03
2	E/20 dengan 0% RAP	m ³	1	2240	4.542,51	1.963.043,51	1.967.586,02

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada Tabel 5.9 di atas total biaya yang dikeluarkan apabila menggunakan campuran aspal dingin dengan ditambah 25% RAP Jl. Ir. Soekarno Tabanan adalah sebesar Rp. 1.549.483,03/m³ dan biayanya lebih murah 21,25% apabila dibandingkan dengan campuran aspal dingin tanpa menggunakan RAP dengan biaya sebesar Rp. 1.967.586,02/m³.

Selain keuntungan harga yang lebih rendah, terdapat keuntungan lain apabila menggunakan campuran dengan penambahan RAP. Keuntungan tersebut adalah mengurangi laju kerusakan dan eksplorasi yang berlebihan terhadap lingkungan, terutama terhadap penambangan agregat. Penggunaan RAP juga dapat mengurangi biaya lingkungan, yaitu biaya-biaya yang terjadi karena adanya kualitas lingkungan yang mungkin terjadi. *United States Environmental Protection Agency* (EPA) mengklasifikasikan biaya lingkungan dalam biaya konvensional, biaya tersembunyi, biaya kontingensi, biaya *image*, dan biaya sosial.

1. Biaya konvensional, adalah biaya penggunaan material, utilitas, barang modal, dan bahan pembantu yang dimasukkan sebagai harga barang jadi tetapi sering tidak dimasukkan sebagai biaya lingkungan. Akan tetapi, penggunaan yang berkurang dari bahan-bahan di atas dan limbah yang berkurang lebih menguntungkan secara lingkungan.
2. Biaya tersembunyi, adalah biaya tak langsung yang berkaitan dengan desain produk dan proses yang ramah lingkungan, dan lain-lain.
3. Biaya kontingensi, adalah biaya yang mungkin termasuk atau tidak termasuk pada waktu yang akan datang. Misalnya: biaya kompensasi karena “kecelakaan” lingkungan, denda, dan lain-lain.
4. Biaya *image*, adalah biaya lingkungan yang bersifat *intangible* karena dinilai secara subyektif.
5. Biaya sosial, merupakan biaya dari pengaruh bisnis pada lingkungan dan masyarakat disekitarnya, biaya ini juga disebut biaya eksternal atau *externalities*.

Sehingga dengan penggunaan material RAP tersebut diharapkan dapat mengurangi biaya lingkungan yang mungkin terjadi.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah melakukan percobaan laboratorium dan analisa terhadap hasil percobaan dengan bahan RAP dari Jl. Ir. Soekarno, Tabanan dapat disimpulkan :

1. Hasil pengujian karakteristik material RAP dan material baru untuk campuran aspal dingin adalah sebagai berikut :
 - a. Agregat RAP menghasilkan nilai berat jenis agregat kasar 2,596 gram/cm³, berat jenis agregat halus 2,474 gram/cm³, penyerapan agregat kasar 1,06%, penyerapan agregat halus 0,8%, kekekalan bentuk terhadap Na₂SO₄ 4,5%, abrasi 23,4%, pengujian setara pasir 66,85 dan kelekatan terhadap aspal >95%. Hasil pengujian terhadap agregat RAP keseluruhan memenuhi seluruh persyaratan agregat, namun gradasinya tidak masuk dalam amplop gradasi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.
 - b. Hasil pengujian karakteristik agregat baru memenuhi semua persyaratan yang telah ditentukan di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.
 - c. Hasil pengujian karakteristik aspal RAP menghasilkan nilai penetrasi 30 dmm, titik lembek 64°C dan daktilitas 10,5 cm. Hasil dari pengujian aspal RAP memenuhi sebagian persyaratan.
 - d. Hasil pengujian karakteristik aspal emulsi CMS-2 memenuhi semua persyaratan yang telah ditentukan di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, sehingga bisa digunakan sebagai bahan campuran aspal dingin.
2. Pada penelitian ini diperoleh komposisi agregat RAP sebesar 20% dan 80% agregat baru yang masuk amplop gradasi sesuai persyaratan campuran aspal dingin bergradasi terbuka.
3. Pada penelitian ini diperoleh komposisi optimal penggunaan RAP sebesar 25% dan 75% agregat baru sebagai bahan campuran aspal dingin bergradasi terbuka. Dari komposisi tersebut dihasilkan kadar aspal optimum sebesar 6,7% yang terdiri dari 5,2% aspal emulsi dan 1,5% aspal RAP.

4. Dari penggunaan RAP sebesar 25% dan 75% agregat baru terdapat pengurangan biaya sebesar 21,25% dibandingkan campuran aspal dingin tanpa RAP. Perhitungan biaya tersebut ditinjau dari segi biaya pengujian serta biaya pembuatan campuran aspal dingin dan belum memperhitungkan keuntungan atas pengurangan laju kerusakan lingkungan.

6.2 Saran

1. Dari hasil percobaan, didapat hal yang bisa membatasi peningkatan jumlah RAP dalam campuran aspal dingin yaitu gradasi agregat RAP. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya disarankan untuk mencari RAP yang memiliki gradasi yang lebih kasar sehingga penggunaan RAP dapat ditingkatkan, sekaligus meningkatkan persentase penghematan yang dapat diperhitungkan.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai seberapa besar pengaruh nilai penetrasi dan daktilitas yang rendah dari aspal hasil ekstraksi dari RAP terhadap kinerja teknis campuran aspal dingin.
3. Pada tingkat kelembagaan hasil penelitian ini diharapkan menjadi masukan alternatif bagi pelaksanaan pemeliharaan jalan maupun sebagai bahu jalan yang diperkeras, mengingat potensi penghematan biaya yang cukup besar.
4. Diperlukan pengkajian lebih detail terhadap analisa biaya mengenai pengurangan laju penambangan serta laju kerusakan lingkungan akibat pemakaian ulang dari material RAP.
5. Guna mengkaji tingkat kesulitan pekerjaan daur ulang dengan aspal emulsi diperlukan penelitian lebih lanjut antara lain dengan mengadakan penelitian skala lapangan.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tata Cara Pengambilan Contoh Agregat	81
Lampiran 2 Metode Penyiapan Benda Uji	82
Lampiran 3 Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan Antara RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dengan Material Baru 75% (Sampel 2).....	83
Lampiran 4 Perhitungan Kadar Aspal Emulsi Awal untuk campuran RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dengan Material Baru 75% (Sampel 2).....	84
Lampiran 5 Komposisi Benda Uji Marshall dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dan Material Baru 75% (Sampel 2)	85
Lampiran 6 Tabel Hasil Uji Campuran dengan Alat Uji Marshall antara RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 20% dan Material Baru 80% (Sampel 1).....	86
Lampiran 7 Tabel Hasil Uji Campuran dengan Alat Uji Marshall antara RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% dan Material Baru 75% (Sampel 2).....	87
Lampiran 8 Tabel Perhitungan Biaya Pengujian Material dengan Menggunakan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25%	88
Lampiran 9 Tabel Perhitungan Biaya Pengujian Material Tanpa RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan.....	90
Lampiran 10 Tabel Analisa Harga Satuan Pekerjaan Campuran Beraspal Dingin Dengan RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan 25% per m ³	91
Lampiran 11 Tabel Analisa Harga Satuan Pekerjaan Campuran Beraspal Dingin Tanpa RAP Jl. Ir. Soekarno, Tabanan per m ³	92

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute (1989), *Asphalt Cold Mix Manual*, Manual Series No.14 (MS-14), Third Edition, Lexington, KY 40512-4052, USA.
- Budianto, Herry (2009), *Menuju Jalan yang Andal*, Cakra Daya Sakti, Surabaya.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (1992), *Tata Cara Pelapisan Ulang Dengan Campuran Aspal Emulsi*, Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (1998), *SNI 03-4798-1998 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik*, Pusjatan Balitbang PU, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (1999), *Pedoman Teknik No.023/T/BM/1999 Tentang Pedoman Pelaksanaan Campuran Beraspal Dingin Untuk Pemeliharaan*, PT. Medisa, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (1999), *Pedoman Teknik No.024/T/BM/1999 Tentang Pedoman Pembuatan Aspal Emulsi Jenis Kationik*, PT. Medisa, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (1999), *Pedoman Teknik No.026/T/BM/1999 Tentang Pedoman Perencanaan Bubur Aspal Emulsi (Slurry Seal)*, PT. Medisa, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (2002), *SNI 03-6717-2002 Tata Cara Penyiapan Benda Uji dari Contoh Agregat*, Pusjatan Balitbang PU, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (2002), *SNI 03-6889-2002 Tata Cara Pengambilan Contoh Agregat*, Pusjatan Balitbang PU, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (2006), *Pemanfaatan Asbuton Buku 5 Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi*, Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum (2010), *Spesifikasi Umum Edisi 2010*, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum (2010), *Panduan Analisa Harga Satuan*, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002), *Manual Perkerasan Campuran Beraspal Panas*, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Emrizal (2009), *Pemanfaatan Material Daur Ulang Aspal Beton untuk Material Aspal Beton Campuran Dingin Memakai Aspal Emulsi*, Tesis Magister, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ghaly, N. F. I. M. Ibrahim, E. M. Naomy (2013), *Tack Coats For Asphalt Paving*, Egyptian Journal of Petroleum, 1-5.
- Kusmarini ,E.P. (2012), *Analisis Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (Asphaltic Concrete) Dengan Menggunakan Aspal Pen 60-70(Studi Kasus Jalan Nasional Gemekan – Jombang dan Jalan Nasional Pandaan – Malang)*, Tesis Master, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Muliawan, I Wayan (2011), *Analisis Karakteristik Dan Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)*, Tesis Magister, Universitas Udayana, Denpasar.
- National Asphalt Pavement Association (1996), *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*, NAPA Education Foundation, Maryland.
- Pemerintah Republik Indonesia (2004), *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan*, Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia (2014), *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2014 Tentang Rencana Kerja Pemerintah Tahun 2015*

Khusus Bidang Tugas Kementerian Pekerjaan Umum, Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta.

Plotnikova, I.A. (1993). *Control of the Interaction Process between Emulsion and Mineral Aggregates by Means of Physic – Chemical Modification of their Surfaces* dalam Thanaya (2003)

Saodang, Hamirhan (2005), *Konstruksi Jalan Raya, Buku 2 Perancangan Perkerasan Jalan Raya*, NOVA, Bandung.

Scan Road, 1991, *Bitumen Emulsion, Technical Bulletin-2*, Stockholm

Sferb (Syndicat des Fabricants D'emulsions Routieres de Ditume), 1991, *Bitumen Emulsions-General Informations Applications, France.*

Soehartono (2010), *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*, PT. Medisa, Jakarta.

Sukirman, Silvia (1992), *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Jalan*, NOVA, Bandung.

Sukirman, Silvia (2003), *Beton Aspal Campuran Panas, Granit*, Jakarta.