



**PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN FILLER
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
ASPAL EMULSI BERGRADASI RAPAT (CEBR)**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh:
Ridwan Hadi Rianto
NIM : L4A001012

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2007**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH ABU SEKAM SEBAGAI BAHAN FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL EMULSI BERGRADASI RAPAT (CEBR)

Disusun oleh:

Nama : Ridwan Hadi Rianto

NIM : L4A001012

Dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 20 Juli 2007
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

TIM PENGUJI :

- | | | |
|-------------------------------|--------------|-------|
| 1. Ir. Djoko Purwanto, MS | (Ketua) | |
| 2. Drs. Bagus Priyatno ST, MT | (Sekretaris) | |
| 3. Ir. Muhrozi, MS | (Anggota) | |
| 4. Ir. Siti Hardiyati, MT | (Anggota) | |

Semarang, Juli 2007

Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ir. Suripin, M.Eng
NIP. 131 668 511

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas rahmat-Nya yang besar, penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis dengan judul “Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)”.

Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima petunjuk, saran, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

- 1) Dr. Ir. Suripin, M. Eng., selaku Ketua Program Pasca Sarjana MAgister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 2) Ir. DJoko Purwanto, MS selaku Dosen Pembimbing I,
- 3) Drs. Bagus Priyatno, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II
- 4) Ir. Muhrozi, MS., selaku Tim Pembahas
- 5) Ir. Siti Hardiyati, MT, selaku Tim Pembahas
- 6) Para Dosen dan Staf Administrasi Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.,
- 7) Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Akhirnya, semoga tesis ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Semarang, Juli 2007

Penulis

ABSTRAK

Keberadaan sekam padi yang melimpah di Indonesia masih tidak dimanfaatkan dengan baik. Diantara sekian banyak kegunaan sekam padi, sebagian besarnya dieksploitasi untuk keperluan-keperluan tradisional seperti perapian, abu gosok, pembakaran batu-bata, campuran batu-bata dan sebagainya. Beberapa penelitian terakhir dalam bidang konstruksi jalan menunjukkan bahwa sekam padi berdayaguna sebagai campuran dalam stabilisasi tanah, khususnya tanah lempung. Sekam, yang dalam bentuknya yang lain yaitu abu sekam, dapat mengisi rongga-rongga yang ditinggalkan di antara butiran-butiran agregat yang mengisi campuran suatu struktur jalan termasuk struktur terbawah yaitu *sub base*. Disamping kemampuan menyusup, abu sekam juga memiliki sifat sementasi yang berfungsi meningkatkan kekesatan antar butiran partikel. Dua sifat tersebut yang menyebabkan abu sekam layak digunakan sebagai bahan kompaktor saat jadi *filler*. Ke depan, abu sekam tampaknya dapat menggantikan abu batu yang selama ini merupakan bahan *filler* utama yang keberadaannya mulai sulit didapatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti perilaku dan kelayakan abu sekam jika dijadikan bahan pengisi pada campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR). Dalam penelitian ini CEBR yang dipakai adalah CEBR tipe III sesuai spesifikasi dari Bina Marga. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa nilai-nilai karakteristik dari CEBR seperti densitas kering dan basah, stabilitas kering dan basah, flow, VMA, dsb.

Untuk mengetahui karakteristik dan kinerja pemakaian bahan penyusun CEBR tipe III, dilakukan pengujian *Modified Marshall test*. Pembuatan campuran berdasarkan spesifikasi khusus Bina Marga 1991, *The Asphalt Institute*, 1979 (MS.19). Uji yang dibutuhkan meliputi antara lain: 1) Uji cold mix I untuk menentukan kadar air penyelimutan, 2) Uji cold mix II untuk menentukan kadar air pemadatan, 3) Uji *Cold mix III* untuk menentukan kadar aspal optimum, dan 4) Uji Cold mix IV untuk menentukan kadar filler optimum. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 8, 9, 10, dan 11 %, sementara variasi kadar filler yang digunakan adalah 4, 4,5 dan 5,5 %.

Hasil uji *cold mix III* untuk *job mix formula* mulai dari kadar aspal emulsi 8 % sampai 11 %, diperoleh kadar aspal emulsi optimum pada nilai 9 %. Adapun hasil penelitian pada *cold mix IV*, untuk variasi kadar filler 4,5 % sampai 5,5 %, diperoleh kondisi optimum pada saat kadar *filler* 4,5 %. Dapat disimpulkan bahwa CEBR dengan bahan *filler* abu sekam akan optimum pada saat kadar *filler* mencapai 4,5 % dan kadar aspal emulsi mencapai 9 %. Secara keseluruhan nilai parameter kinerja CEBR *filler* abu sekam dalam kondisi baik.

Sekalipun hasil uji abu sekam terlihat cukup baik, namun jika dibandingkan dengan *filler* lain seperti abu terbang, hasil uji CEBR dengan filler abu sekam secara keseluruhan terlihat kinerjanya masih dibawah CEBR dengan filler abu terbang. Untuk itu, pemakaian abu sekam sebagai bahan *filler* dimungkinkan dapat dicampur dengan bahan *filler* lain agar kinerja CEBR dengan filler abu sekam mempunyai kinerja yang lebih baik.

ABSTRACT

The lot deposit of paddy chaff (rice husk) in Indonesia was still not be exploited better. Among the existing utilization of it, most of it was exploited for traditional needs like fireplace material, dusty rub, combustion of brick making, mixture of brick material, etc. Some last researchs in the field of road construction showed that paddy chaff was powerful enough when mixtured in soil for puropose of soil stabilization, specially for clay soil. Husk, which in the other form of it was husk ash, could fill left cavitys among aggregates when applied for the mix's material in a road structure or foundation structure. Beside of infiltrative ability, ash has also like-cement nature which is able to improve coarseness among particles. Those two natures reveals that husk ash is suitable for compactor agent when it was treated as a filler. Forwards, ash seems to be aplicable for replacing rock ash which in the recent time showing rare.

This research aims to identify behavior and elegibility of husk ash if it is used as filler material fo dense graded emulsified mix (DGEM). The aimed DGEM was the type-III DGEM subject to the Bina Marga standard. Among results of it are values of wet and dry density, wet and dry stability, flow, VMA, etc.

To know performance and characteristic of the type-III DGEM, the Modified Marshall test will be used. The Making of mixture for DGEM is subject to the Bina Marga special specification of 1991 and The Asphalt Institute 1979 (MS-19). The laboratory test will involve four steps of test 1) Cold mix I, done for optimal water content subject to 75 % or more asphalt coated agregate, 2) Cod mix II, done for optimal water content subject to dry density at maximum, 3) Cold mix III, performed for asphalt content at optimum and 4) Cold mix IV, performed for filler content at optimum.

Of the result of the test were as follow 1) at Cold mix III for the mix formula using emulsified asphalt from 8 % until 11 %, the optimum of asphalt content was 9 % of the total mass of agregate, and 2) at Cold mix IV, the optimum of filler content was 4,5 % of the total mass of agregate. Saying, the type-III DGEM can be optimum when the filler content within the mix at 4,5 % in line with the emulsified asphalt content at 9 % of the total mass of agregate. According to the parameter values which were pursuant to the Bina Marga standard, it was said that the performance of DGEM with rice husk ash filler was in a good condition as a whole.

Nevertheless, the performance of the DGEM with husk ash was generally underestimate in comparison with other filler like fly ash. For that, usage of husk ash filler for DGEM may be mixed with othe materials of filler so that the performance of DGEM will hopefullty be better.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR ISTILAH	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	2
1.2.1. Maksud	2
1.2.2. Tujuan	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Hipotesa Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gambaran Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)	6
2.1.1. Tipe dan Spesifikasi CEBR	7
2.1.2. Karakteristik CEBR	8
2.2. Aspal Emulsi	8
2.2.1. Jenis-Jenis Aspal Emulsi	9
2.2.2. Spesifikasi Aspal Emulsi untuk CEBR	10
2.3. Agregat dan Karakteristiknya	11
2.3.1. Jenis-jenis Agregat	13
2.3.2. Spesifikasi Agregat untuk CEBR	13
2.4. Abu Sekam	14
2.4.1. Gradasi Butiran Abu Sekam	14
2.4.2. Sifat Kimiawi Abu Sekam	15
2.4.3. Abu Sekam sebagai Bahan Filler	15
2.5. Penelitian Terdahulu	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Diagram Kerja Penelitian	21
3.2. Persiapan Bahan dan Peralatan	22
3.2.1. Bahan yang Dibutuhkan	22
3.2.2. Peralatan yang Dibutuhkan	22
3.3. Pemeriksaan Bahan	23
3.3.1. Pemeriksaan Agregat	23
3.3.2. Pemeriksaan Aspal Emulsi	24
3.4. Formulasi Campuran	25
3.5. Komposisi Rencana	27

3.5.1.	Benda Uji untuk Uji Cold Mix I	27
3.5.2.	Benda Uji untuk Uji Cold Mix III dan Cold Mix IV	27
3.6.	Pengujian Benda Uji	28
3.6.1.	Persiapan	28
3.6.2.	Uji Marshall	38
3.7.	Analisis	39
3.7.1.	Kepadatan (<i>Density</i>)	39
3.7.2.	Kadar rongga (VMA)	40
3.7.3.	Tingkat Penyerapan Air	41
3.7.4.	Nilai Marshall	41
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		43
4.1.	Hasil-Hasil Uji	43
4.1.1.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik CEBR Tipe IV	43
4.1.2.	Hasil Uji Cold Mix I	44
4.1.3.	Hasil Uji Cold Mix II	47
4.1.4.	Hasil Uji Cold Mix III	49
4.1.5.	Hasil Uji Cold Mix IV	55
4.2.	Pembahasan Hasil	60
4.2.1.	Pengaruh Kadar Filler terhadap Kepadatan (<i>Density</i>)	60
4.2.2.	Pengaruh Kadar Filler terhadap VMA	62
4.2.3.	Pengaruh Kadar Filler terhadap Penyerapan Air (Absorption)...	63
4.2.4.	Pengaruh Kadar Filler terhadap Kelelehan Plastis (Flow).....	64
4.2.5.	Pengaruh Kadar Filler terhadap Stabilitas (Stability)	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.1.	Kesimpulan	69
5.2.	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tipe CEBR dan spesifikasi gradasinya	7
Tabel 2.2.	Tingkatan aspal emulsi berdasarkan ASTM dan AASHTO	9
Tabel 2.3.	Spesifikasi aspal emulsi	10
Tabel 2.4.	Persyaratan agregat kasar untuk CEBR	13
Tabel 2.5.	Persyaratan agregat halus untuk CEBR	14
Tabel 2.6.	Sifat kimiawi abu sekam.....	15
Tabel 2.7.	Syarat gradasi bahan pengisi (filler)	16
Tabel 3.1.	Persyaratan gradasi agregat kasar dan halus untuk CEBR Tipe III/25	23
Tabel 3.2.	Persyaratan agregat kasar untuk CEBR.....	24
Tabel 3.3.	Persyaratan agregat halus untuk CEBR.....	24
Tabel 3.4.	Persyaratan aspal emulsi kationik tipe CSS-1.....	25
Tabel 3.5.	Fraksi rencana komposisi CEBR Tipe III/25.....	25
Tabel 3.6.	Syarat gradasi agregat CEBR Tipe III/25	26
Tabel 3.7.	Komposisi rencana agregat berdasarkan analisa saringan.....	27
Tabel 3.8.	Komposisi Rencana CEBR Tipe III/25	27
Tabel 3.9.	Rancangan komposisi filler, aspal emulsi dan jumlah sampel pada benda uji Cold Mix III	28
Tabel 3.10.	Rancangan komposisi filler, aspal emulsi dan jumlah sampel pada benda uji Cold Mix IV	28
Tabel 3.11.	Rancangan benda uji pada Cold Mix I (pemeriksaan kadar air penyelimutan)	30
Tabel 3.12.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi dan air untuk benda uji I	31
Tabel 3.13.	Rancangan benda uji pada Cold Mix II (pemeriksaan kadar air pemadatan).....	33
Tabel 3.14.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi dan air untuk benda uji II	33
Tabel 3.15.	Rancangan benda uji pada Cold Mix III (pemeriksaan kadar aspal optimum)	34
Tabel 3.16.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada Cold Mix III dengan kadar filler abu sekam 5,0 %	35
Tabel 3.17.	Rancangan benda uji pada Cold Mix IV (pemeriksaan kadar filler optimum)	37
Tabel 3.18.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada Cold Mix IV dengan kadar filler abu sekam 4,5 %	37
Tabel 3.19.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada Cold Mix IV dengan kadar filler abu sekam 5,0 %	38
Tabel 3.20.	Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada Cold Mix IV dengan kadar filler abu sekam 5,5 %	38
Tabel 3.21.	Persyaratan Sifat Marshall CEBR Type III dan IV	39
Tabel 4.1.	Hasil pemeriksaan agregat kasar	43
Tabel 4.2.	Hasil pemeriksaan agregat halus	43
Tabel 4.3.	Hasil pemeriksaan bahan filler abu sekam	44
Tabel 4.4.	Hasil pemeriksaan aspal emulsi	44
Tabel 4.5.	Hasil uji kadar air penyelimutan (filler abu sekam)	45

Tabel 4.6.	Hasil uji kadar air penyelimutan (filler abu terbang)	45
Tabel 4.7.	Hasil uji kadar air pemadatan (filler abu sekam)	47
Tabel 4.8.	Hasil uji kadar air pemadatan (filler abu terbang)	48
Tabel 4.9.	Hasil uji cold mix III (filler abu sekam)	50
Tabel 4.10.	Hasil uji cold mix III (filler abu terbang)	50
Tabel 4.11.	Hasil uji cold mix IV untuk filler abu sekam (Kadar Aspal 9%)	56
Tabel 4.12.	Hasil uji cold mix IV untuk filler abu terbang (Kadar Aspal 9%).....	56
Tabel 4.13.	Perbandingan kinerja beberapa bahan filler terhadap CEBR.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Contoh gradasi agregat	6
Gambar 2.2.	Contoh aplikasi aspal emulsi	9
Gambar 2.3	Kemampuan penyelimutan aspal	12
Gambar 2.4.	Kurva distribusi partikel abu sekam padi	15
Gambar 3.1.	Diagram kerja penelitian.....	21
Gambar 3.2.	Rencana komposisi agregat gabungan CEBR Tipe III/25	26
Gambar 4.1.	Grafik hubungan antara kadar air dengan kadar penyelimutan (%) (abu sekam).....	46
Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara kadar air dengan kadar penyelimutan (%) (filler abu terbang)	46
Gambar 4.3.	Grafik hubungan kadar air dengan berat jenis kering (gr/cc) (filler abu sekam).....	48
Gambar 4.4.	Grafik hubungan kadar air dengan berat jenis kering (gr/cc) (abu terbang)	49
Gambar 4.5.	Grafik 11 parameter uji Cold mix III	51
Gambar 4.6.	Penentuan nilai kadar aspal optimum	55
Gambar 4.7.	Grafik 11 parameter uji Cold mix IV (kadar aspal 9 %)	57
Gambar 4.8.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan berat jenis kering (gr/cc)	62
Gambar 4.9.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan berat jenis basah (gr/cc)	62
Gambar 4.10.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan VMA (%).....	63
Gambar 4.11.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan penyerapan air (%)	65
Gambar 4.12.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan nilai keelehan (mm)...	66
Gambar 4.13.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan stabilitas kering (kg) ...	67
Gambar 4.14.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan nilai stabilitas basah (kg)	68
Gambar 4.15.	Grafik hubungan antara kadar filler dengan nilai stabilitas sisa (%)	69

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Lambang	Satuan	Keterangan
Kadar air	w	%	Kadar air dalam campuran yang diukur dalam kondisi kering udara
Berat Jenis Kering	λ_d	gr/cc	Berat jenis benda uji yang diukur dalam kondisi kering udara
Berat Jenis Basah	λ_s	Gr/cc	Berat jenis benda uji yang diukur dalam air
VMA	VMA	%	Kadar rongga dalam agregat
Total rongga	v_t	%	Total rongga dalam campuran
Rongga udara	v	%	Kadar rongga udara dalam campuran
Penyerapan air	a	%	Tingkat penyerapan air agregat
Stabilitas kering	γ_d	Kg	Daya tahan campuran dalam menerima beban dalam uji Marshall dimana campuran dalam kondisi kering udara
Stabilitas basah	γ_s	Kg	Daya tahan campuran dalam menerima beban dalam uji marshall dimana campuran dalam pasca perendaman
Stabilitas sisa	γ_r	%	Perbandingan antara stabilitas kering dengan stabilitas basah
Flow	f	%	Kondisi campuran mengalami kekelehan pada titik beban tertentu saat uji Marshall

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan sekam padi yang melimpah di Indonesia masih tidak dimanfaatkan dengan baik. Diantara sekian banyak kegunaan sekam padi, sebagian besarnya dieksploitasi untuk keperluan-keperluan tradisional seperti perapian, abu gosok, pembakaran batu-bata, campuran batu-bata dan sebagainya. Dibandingkan dengan potensinya, jelas pemanfaatan abu sekam ini tampak monoton dan juga bernilai guna rendah.

Beberapa penelitian terakhir dalam bidang konstruksi jalan menunjukkan bahwa sekam padi berdayaguna sebagai campuran dalam stabilisasi tanah, khususnya tanah lempung. Sekam, yang dalam bentuknya yang lain yaitu abu sekam, dapat mengisi rongga-rongga yang ditinggalkan di antara butiran-butiran agregat yang mengisi campuran suatu struktur jalan termasuk struktur terbawah yaitu *sub base*. Disamping kemampuan menyusup, abu sekam juga memiliki sifat sementasi yang berfungsi meningkatkan kekesatan antar butiran partikel. Dua sifat tersebut yang menyebabkan abu sekam layak digunakan sebagai bahan kompaktor saat jadi *filler*. Ke depan, abu sekam tampaknya dapat menggantikan abu batu yang selama ini merupakan bahan *filler* utama yang keberadaanya mulai sulit didapatkan.

Tetapi sebenarnya, di luar masalah stabilisasi tanah, abu sekam juga memungkinkan digunakan dalam jenis campuran lain seperti campuran aspal untuk lapis permukaan. Sifat sementasi dan gradasi butirannya sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam salah satu bahan pembentuk campuran aspal yaitu *filler*. Selama ini *filler* diisi oleh abu batu. Namun karena abu batu sulit didapatkan sebab jumlahnya sedikit, fungsinya sering digantikan oleh bahan lain seperti *fly ash*. Kenyataannya *fly ash* juga mahal karena abu batu bara ini belum banyak tersedia di setiap daerah kecuali daerah-daerah tertentu di Indonesia. Jika abu sekam dapat menggantikan kedua bahan tersebut, maka kendala-kendala tersebut dapat dikurangi disebabkan kelebihan abu sekam yang disamping murah harganya juga mudah mendapatkannya dalam jumlah besar. Masalah murah dan mudah inilah yang akhir-akhir ini menjadi perhatian utama dalam penyediaan bahan pembangunan jalan.

Disamping *filler*, masalah lain yang menjadi penentu suatu bahan menjadi murah dan mudah adalah jenis atau cara pencampuran. Cara pencampuran yang selama ini paling banyak dipakai yaitu pencampuran panas atau *hot mix*; campuran ini membutuhkan biaya yang mahal sebab membutuhkan peralatan dan pekerja yang banyak. Mahalnya penyediaan peralatan dan pekerja akan menyebabkan peningkatkan harga campuran aspal secara keseluruhan. Karenanya alternatif lain dari campuran aspal panas diperlukan keberadaannya guna menekan biaya. Salah satu alternatifnya adalah campuran aspal dingin atau yang dikenal dengan campuran aspal emulsi.

Campuran aspal emulsi, yang dibentuk hanya mengandalkan bahan *emulsifier* untuk merekatkan antar agregat penyusunnya, tidak membutuhkan peralatan yang kompleks dan pekerjaan yang rumit, sehingga pada akhirnya dapat menurunkan harga pengadaan campuran secara keseluruhan.

Terhadap karakteristik aspal emulsi yang dicampur dengan bahan *filler*, beberapa penelitian telah dilakukan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Mutohar, Y., (2002). Mutohar, Y. (2002) meneliti tentang karakteristik campuran aspal emulsi bergradasi rapat dengan bahan *filler*-nya adalah abu terbang (*fly ash*) dan abu batu. Dari hasil penelitian diketahui bahwa *fly ash* memiliki sifat yang baik yang tidak kalah dibanding dengan abu batu sebagai bahan *filler* dalam campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR).

Mengingat abu sekam memiliki sifat-sifat yang baik yang menyerupai abu terbang, maka penelitian ini mencoba melihat pengaruh abu sekam terhadap campuran aspal bergradasi rapat (CEBR) sebagai ganti bagi filler lain.

1.2. Maksud dan Tujuan

3.1.1. Maksud Penelitian

Maksud penelitian ini adalah mengevaluasi penggunaan abu sekam sebagai bahan *filler* alternatif pada campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR).

3.1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. mengetahui karakteristik campuran aspal emulsi bergradasi (CEBR) rapat dengan bahan *filler* abu sekam. Karakteristik campuran aspal emulsi bergradasi rapat yang akan diuji meliputi:

- 1) Densitas (*density*) yang menunjukkan tingkat kepadatan campuran yang diteliti.
 - 2) Ketahanan dan kekuatan (*stability*), menunjukkan ketahanan campuran aspal terhadap beban berulang yang bekerja di atasnya sehingga tidak terjadi *rutting*.
 - 3) Daya rembes (*permeability*) menunjukkan tingkat kekedapan campuran aspal terhadap infiltrasi air maupun uap air.
 - 4) Kelelehan plastis (*flow*) yang menunjukkan besaran deformasi vertikal dari campuran aspal akibat adanya beban.
- b. Mengetahui komposisi optimum campuran aspal bergradasi rapat dengan bahan *filler*-nya adalah abu sekam. Nilai optimum ini mencakup proporsi kadar aspal emulsi yang optimum dan kadar abu sekam yang optimum.

1.3. Batasan Masalah

Untuk mendukung tujuan penelitian, dibutuhkan batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Penelitian ini sebatas mengkaji besarnya pengaruh abu sekam terhadap aspal emulsi jenis kationik CSS-1 pada CEBR
- b. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal emulsi CSS-1 produksi PT. Hutama Prima Jawa Tengah.
- c. Jenis agregat baik kasar, sedang dan halus ditentukan menurut spesifikasi gradasi agregat *The Asphalt Institute MS-19* (1979) dan spesifikasi Bina Marga (1991).
- d. Jenis pasir yang digunakan adalah jenis pasir muntilan, Jawa Tengah.

1.4. Manfaat

Penelitian ini nantinya diharapkan memiliki manfaat praktis. Diantara manfaat-manfaat yang ada adalah:

- a. Diharapkan tersedia suatu jenis campuran yang murah dan mudah.

Hal ini didasarkan pada dua hal:

- 1) Diantara bahan penyusun campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR) adalah abu sekam yang harganya relatif murah dan mudah mendapatkannya. Oleh karena itu campuran aspal yang menggunakan *filler* dari abu sekam

tentunya lebih murah produksinya dibanding jika menggunakan bahan lain seperti abu batu yang terkenal mahal dan sulit.

- 2) Dibanding dengan aspal panas, proses produksi dan pengerjaan campuran aspal dengan cara emulsi lebih murah karena membutuhkan peralatan dan pekerja yang lebih sedikit. Keuntungan ini tentu akan mempengaruhi harga akhir penggunaan campuran aspal emulsi yang lebih murah dan mudah.
- b. Meningkatkan nilai guna sekam padi yang selama ini masih tergolong kurang optimal. Penggunaan sekam yang merupakan sisa penggilingan padi selama ini masih sangat terbatas padahal ketersediaan abu sekam sangat melimpah di Indonesia. Uji coba penggunaan abu sekam padi pada campuran aspal untuk keperluan konstruksi jalan diharapkan dapat meningkatkan nilai guna dan nilai jual abu sekam, yang berarti meningkatkan kesejahteraan petani.

1.5. Hipotesa Penelitian

Hipotesa dari penelitian ini adalah “Berdasarkan sifat-sifat fisis dan kimiawinya, abu sekam dapat menjadi *filler* yang baik bagi campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR) sebagaimana jenis *filler* lain seperti abu batu, abu terbang, dll”.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini direncanakan terdiri dari 5 (lima) bagian atau bab, yaitu bab pendahuluan, bab tinjauan pustaka, bab metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, dan bab kesimpulan dan saran.

a. Bab I Pendahuluan

Mengandung uraian mengenai latar belakang penelitian, maksud dan tujuan diadakan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesa penelitian, dan sistematika penulisan.

b. Bab II Tinjauan Pustaka

Mengandung uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan karakteristik campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR), karakteristik aspal emulsi, karakteristik agregat, karakteristik abu sekam, dan rumus-rumus yang berkaitan dengan sifat-sifat campuran seperti kekuatan (*durability*), kelelahan plastis (*flow*), kadar rongga campuran (*void*), dsb.

c. Bab III Metodologi Penelitian

Mengandung uraian tentang alur pikir penelitian, tahapan dan tata cara pelaksanaan penelitian dan uji laboratorium serta metode analisis yang digunakan.

d. Bab IV Analisa Data dan Pembahasan

Bagian ini mengandung uraian tentang data-data hasil penelitian tentang pengaruh abu sekam terhadap karakteristik campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR) disertai dengan analisis dan pembahasan mengenai sifat dan kecenderungan hasil penelitian tersebut.

e. BAB V Kesimpulan dan Saran

Bagian ini mengandung uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan. Juga disajikan saran-saran untuk aplikasi hasil penelitian di lapangan dan untuk kemungkinan studi lebih lanjut.

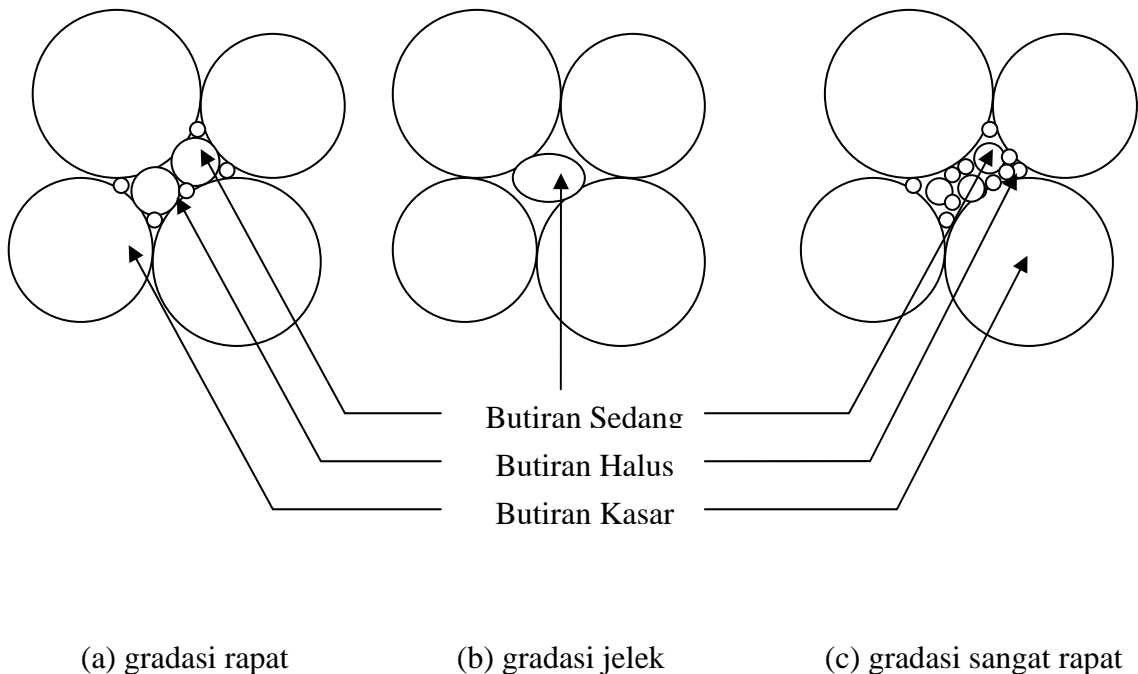
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)

Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (selanjutnya disebut CEBR) merupakan salah satu dari jenis campuran aspal lainnya seperti Laston, Butonite Mastic Asphalt (BMA), lasbutag, Latasir, Latasbusir, dan Hot Rolled Sheet (HRS). Istilah CEBR dapat dipahami dari dua kelompok kata, yaitu campuran bergradasi rapat (*dense graded mix*) dan aspal emulsi (*emulsified asphalt*).

Campuran bergradasi rapat sendiri dapat dijelaskan secara singkat oleh gambar 2.1. Yang utama dalam campuran bergradasi rapat adalah susunan agregat penyusun campuran memiliki gradasi yang baik. Sedangkan gradasi baik merupakan gradasi yang mengandung semua agregat dari ukuran maksimum (tertahan saringan no.8) sampai ukuran minimum (lolos saringan no.200) (**The Asphalt Institute, 1979**). Gradasi baik akan membentuk campuran yang rapat dengan meninggalkan rongga udara yang kecil atau kurang dari 10 % (**SFERB, 1991**).



Gambar 2.1. Contoh gradasi agregat
(sumber: **Atkins, N., H., 1997**)

Menurut cara pencampurannya, CEBR termasuk jenis campuran aspal dingin yaitu jenis campuran aspal yang tidak membutuhkan panas sebagai media pencampurannya. Sebagai pengganti dari panas, pada CEBR digunakan suatu media lain yaitu air yang berfungsi sebagai katalisator. Tetapi karena air memiliki sifat non polar sedangkan aspal minyak memiliki sifat polar, maka diperlukan unsur lain yang mempunyai sifat keduanya sekaligus yaitu sifat polar dan non polar. Unsur yang memiliki sifat polar dan non polar ini disebut unsur pengemulsi (*emulsifier*) atau agen pencampur (*flux agent*). Proses pencampurannya disebut proses emulsi dan hasilnya disebut campuran emulsi.

Apabila dalam campuran emulsi ditambahkan bahan-bahan beragregat halus yang dapat mengisi rongga-rongga antar bahan penyusun campuran (*filler*) sehingga campuran menjadi rapat dan padat, maka campuran emulsi ini selanjutnya disebut CEBR. Disebut demikian, karena campuran CEBR ini mempunyai susunan gradasi yang menerus dan menyisakan rongga yang sangat sedikit pada struktur campurannya. Sisa-sisa rongga ini nantinya akan diisi oleh air atau uap air yang menyusup ke dalam campuran saat terjadi proses pengembunan atau penguapan. Besar kecilnya rongga-rongga antar komponen penyusun campuran akan mempengaruhi karakteristik dari campuran tersebut.

Tidak seperti pencampuran dengan panas, proses emulsi—diluar penyediaan bahan pengemulsi—biasanya relatif lebih mudah dilakukan karena mediator air tersedia berlimpah. Inilah keuntungan tersendiri yang dimiliki oleh campuran emulsi disamping keuntungan lainnya seperti kemudahan pencampuran (*workability*) yang tinggi, proses pelaksanaan di lapangan yang mudah dan tingkat stabilitas-nya yang tinggi.

2.1.1. Tipe dan Spesifikasi CEBR

Tipe CEBR dibedakan menurut mutu dan spesifikasi gradasi penyusunnya. Menurut ***Bina Marga (1991)***, CEBR dibagi menjadi 5 tipe yaitu Tipe I/50, Tipe II/37.5, Tipe III/25, Tipe IV/19 dan Tipe V/12.5. Tipe I biasanya digunakan untuk lapis pondasi bawah (*sub base*). Tipe II digunakan sebagai lapis pondasi bawah (*sub base*) dan atas (*base*). Tipe III dan Tipe IV digunakan sebagai pondasi atas (*base*) dan lapis permukaan (*surface*). Tipe V digunakan untuk campuran yang paling halus baik untuk lapis pondasi atas (*base*) maupun lapis permukaan (*surface*).

Menurut spesifikasi ukuran agregatnya (gradasi), Tipe I memiliki ukuran agregat nominal maksimum 50 mm. Tipe II mempunyai ukuran agregat nominal maksimum 37,5 mm. Tipe III memiliki ukuran maksimum 25 mm sedangkan Tipe IV dan V berturut-turut mempunyai ukuran agregat nominal maksimum 19 mm dan 12,5 mm. (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Tipe CEBR dan spesifikasi gradasinya

Ukuran Saringan	Tipe I/50	Tipe II/37.5	Tipe III/25	Tipe IV/19	Tipe V/12.5
2" (50 mm)	100	-	-		
1 1/2" (38.1 mm)	90-100	100	-		
1" (25 mm)	-	90-100	100		
3/4" (19 mm)	60-80	-	90-100	100	
1/2" (12.5 mm)	-	60-80	-	90-100	100
3/8" (9.5 mm)	-	-	60-80	-	100
# 4 (4.75 mm)	20-55	25-60	35-65	45-75	60-80
# 8 (2.36 mm)	10-55	15-45	20-50	25-55	35-65
# 50 (0.3 mm)	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
# 200 (0.075 mm)	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Kandungan pasir (%)	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Abrasi (%)	Min 40	Maks 40	Maks 40	Maks 40	Maks 40

Sumber: **Bina Marga, 1991**

2.1.2. Karakteristik CEBR

Menurut *The Asphalt Institute, MS-19 (1979)* dan *The Asphalt Institute, MS-14 (1990)*, karakteristik CEBR meliputi beberapa sifat primer, yaitu kadar air penyelimutan (Coating), kadar air pemadatan, kepadatan (density), rongga dalam agregat (VMA), stabilitas sisa, kadar penyerapan (absorption) dan beberapa sifat sekunder seperti rongga (void), total rongga, stabilitas kering, stabilitas basah dan kelelehan (flow).

Kadar air penyelimutan adalah kadar air pada benda uji saat penyelimutan aspal terhadap agregat dari benda uji mencapai 75 % atau lebih. Kadar air pemadatan adalah kadar air pada benda uji saat tingkat pemadatan benda uji maksimum yang diukur dari densitas kering mencapai nilai maksimum.

Kepadatan meliputi kepadatan kering dan kepadatan basah. Kepadatan kering adalah berat jenis benda uji yang ditimbang dalam keadaan kering udara. Sementara kepadatan basah adalah berat jenis benda uji yang mengalami perendaman.

Jumlah rongga dalam agregat menunjukkan jumlah rongga yang ada dalam agregat yang memungkinkan masuknya air dan udara dalam agregat. Sementara rongga dalam campuran adalah rongga yang ada pada benda uji yang terbentuk oleh ruang yang ditinggalkan antara bahan penyusun benda uji.

Stabilitas menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban. Stabilitas terdiri dari stabilitas kering dan stabilitas basah. Stabilitas kering merupakan ukuran ketahanan benda uji dalam menerima beban dalam kondisi kering udara. Sementara stabilitas basah merupakan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban dalam kondisi jenuh.

2.2. Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan hasil dispersi bahan aspal semen dalam air secara merata dengan menggunakan *emulsifier* yang berfungsi mengikat molekul aspal dengan molekul air. Dalam suatu campuran emulsi, kandungan aspal umumnya berkisar $\pm 55-75\%$ dan kandungan bahan pengemulsi (*emulsifier*) $\pm 3\%$.



Gambar 2.2. Contoh aplikasi aspal emulsi
(sumber: Ertech.com, 2000)

2.2.1. Jenis-Jenis Aspal Emulsi

Aspal emulsi dapat dikelompokkan menurut jenis muatan listriknya dan menurut kecepatan pengerasannya. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan menjadi (**Martens and Borgfeldt, 1985**):

- a. Aspal emulsi kationik atau disebut aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik positif. Pada saat ini aspal emulsi yang umum digunakan di Indonesia adalah aspal emulsi kationik, karena aspal emulsi tipe ini cocok dengan hampir semua batuan (agregat) yang ada di Indonesia. Aspal emulsi yang termasuk jenis aspal emulsi kationik tersebut yang cocok digunakan untuk membuat campuran dingin adalah CSS-1, CSS-1h, CMS-2, dan CMS-2h.

Tabel 2.2. Tingkatan aspal emulsi berdasarkan ASTM dan AASHTO

Aspal Emulsi	Aspal Emulsi Kationik
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	-CMS-
MS-2	2
MS-2h	CMS-2h
H FMS-1	-
H FMS-2	-
H FMS-2h	-
H FMS-2s	-
SS-1	CSS-1
SS-2	CSS-1 h

Sumber: **Bina Marga, 1991**

- b. Aspal emulsi anionik atau disebut aspal emulsi alkali merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik negatif dan banyak digunakan untuk melapisi batuan basa.
- c. Aspal emulsi monionik merupakan aspal emulsi yang tidak bermuatan listrik karena tidak mengalami ionisasi.

Berdasarkan kecepatan pengerasannya, aspal emulsi dibedakan menjadi (**Hendarsin, 2000 dalam Mutohar, Y., 2002; Atkins, 1997**):

- a. Aspal emulsi RS (*Rapid Setting*), direncanakan mempunyai tingkat reaksi yang cepat dengan agregat penyertanya dan berubahnya emulsi ke aspal. Jenis RS akan menghasilkan lapisan film yang relatif tebal.

- b. Aspal emulsi MS (*Medium Setting*), direncanakan memiliki tingkat pencampuran medium dengan sasaran agregat kasar. Karena jenis ini tidak akan memecah jika berhubungan dengan agregat, maka campuran yang menggunakan jenis ini akan tetap dapat dihamparkan dalam beberapa menit.
- c. Aspal emulsi SS (*Slow Setting*), jenis ini direncanakan untuk hasil pencampuran yang memiliki stabilitas tinggi. Jenis ini digunakan dengan agregat bergradasi padat dan mengandung kadar agregat halus yang tinggi.

2.2.2. Spesifikasi Aspal Emulsi untuk CEBR

Spesifikasi aspal emulsi untuk CEBR mengikuti standar *The Asphalt Institute MS-19 (1979)* dan tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Spesifikasi Aspal Emulsi

No.	Jenis	Satuan	Syarat
1.	Kandungan air	%	-
2.	Stabilitas rendaman (24 jam)	%	0 - 1
3.	Viskositas	Cm ² /dt	20 - 100
4.	Homogenitas	%	0 - 0,1
5.	Residu	%	Min 57
6.	Penetrasi residu	(0,1 mm)	135 - 250
7.	Duktilitas residu	cm	Min 40

Sumber: *The Asphalt Institute, 1979*

2.3. Agregat dan Karakteristiknya

Agregat merupakan partikel mineral yang digunakan sebagai bahan campuran pada berbagai jenis campuran melekat seperti beton, pondasi dasar jalan, campuran aspal, dan lain-lain (*Atkins, H.N., PE., 1997*). Agregat merupakan komponen pokok dalam perkerasan aspal bahkan prosentasenya mencapai 90%-95% dari berat keseluruhan campuran atau sekitar 77%-85% terhadap prosentase volume (*Mutohar, Y., 2002*).

Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dikandungnya. Diantara sifat-sifat yang ada yaitu *strength* atau kekuatan, *durability* atau keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan.

Sifat kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) dipengaruhi oleh gradasi, kadar lumpur, kekerasan (*hardness*) dan bentuk butir (*shape-grain*). Gradasi merupakan ukuran luar dari agregat dan dibedakan menjadi agregat kasar, sedang dan halus menurut ukuran individu-nya atau dibedakan menjadi agregat seragam (*uniform graded*), gradasi rapat (*dense graded*) dan gradasi jelek (*poorly graded*) menurut kelompoknya (**Krebs, D.R. and Walker, D.R., 1971**). Gradasi yang baik, seragam dan seimbang dapat meningkatkan kekuatan dan keawetan karena rongga yang dibentuk mudah dimasuki oleh *filler* sehingga kerapatan-nya meningkat akibat tidak ada rongga yang kosong begitu saja.

Kadar lumpur dapat mempengaruhi kekuatan campuran karena agregat dengan kadar lumpur tinggi akan memiliki daya rekat yang rendah terhadap aspal. Karenanya keberadaan lumpur perlu dihilangkan dari agregat saat hendak dilakukn pencampuran dengan bahan perekat seperti aspal.

Sedangkan kekerasan dan bentuk butir akan mempengaruhi kekuatan dari sisi peningkatan ketahanan akibat tekanan beban dan peningkatan gaya geser antar agregat. Gaya geser yang baik pada dasarnya akan meningkatkan keukautan saling kunci antar partikel sehingga menambah kekuatan campuran.

Sifat *adhesiveness* atau kemampuan dilapisi aspal dipengaruhi oleh porositas dan bentuk batuan. Porositas memungkinkan molekul-molekul aspal menyusup ke dalam tubuh agregat melalui kemampuan serap mikroskopis (*absorption*). Sedangkan bentuk batuan membantu pecahnya film aspal saat terjadi kontak. Agregat bersisi runcing biasanya lebih mudah memicu pecahnya film aspal yang mengakibatkan rendahnya kemampuan penyelimutan (*stripping*). Sebaliknya, agregat bulat mempunyai kemampuan yang kuat dalam penyelimutan (*anti stripping*) karena tidak mudah memicu pemecahan film aspal.



Gambar 2.3 Kemampuan penzelimutan aspal a) kiri, agregat runcing memiliki kadar penzelimutan rendah (*stripping*) dan b) kanan, agregat bulat memiliki kadar penzelimutan tinggi (*anti stripping*)
Sumber: *Asphalt files.com* (2004)

Sifat kemudahan pencampuran (*Workability*) atau dipengaruhi oleh tahanan geser (*skid resistance*) dan kondisi agregat. Tahanan geser berhubungan dengan nilai kekesatan yang dipengaruhi oleh tekstur, nilai abrasi, kadar aspal. Agregat dengan mikrotekstur yang tinggi dan nilai abrasi yang rendah mempunyai nilai kekesatan yang tinggi yang mengakibatkan tahanan geser yang kuat. Kadar aspal yang kurang atau terlalu berlebihan menyebabkan kekesatan menurun dan menyebabkan sifat *workability* menjadi rendah.

2.3.1. Jenis-jenis agregat

Agregat secara umum dibedakan menurut ukurannya. Paling tidak ada jenis ukuran agregat yaitu (Atkins, H. N., PE, 1997):

- a. Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan saringan ukuran No.8. Agregat ini berukuran lebih besar dari 2,36 mm.
- b. Agregat halus yaitu agregat yang berukuran antara 2,36 mm (lolos saringan No.8) dan 75 μm (tertahan saringan No.200).
- c. Agregat sangat halus adalah agregat yang lebih kecil dari 75 μm atau lolos saringan No.200. Agregat sangat halus biasanya berfungsi sebagai *filler*.

Pengukuran agregat biasanya menggunakan saringan dengan ukuran lubang tertentu dan ukuran agregat ditentukan menurut persen tertahan atau lolos dari masing-masing saringan. Ukuran saringan yang umum dipakai menggunakan standar *AASHTO*.

2.3.2. Spesifikasi Agregat untuk CEBR

Sebagai bahan penyusun campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR), ada beberapa persyaratan penentuan agregat yang harus dipenuhi. Salah satu persyaratan yang dipakai adalah spesifikasi khusus persyaratan **Bina Marga (1991)** yaitu:

a. Agregat kasar

Agregat kasar untuk Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) harus memenuhi persyaratan sebagaimana dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Persyaratan agregat kasar untuk CEBR

Saringan (mm)	Ukuran (ASTM)	% berat yang lewat
50	2"	100
37.5	1 ½"	90 – 100
25	1"	20 – 100
12.5	½"	5 – 100
9.5	3/8"	0 – 100
4.75	# 4	0 – 30
2.36	# 8	0 – 10
0.075	# 200	0 – 5

Sumber: **Bina Marga, 1991**

b. Agregat Halus

Agregat halus untuk Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) harus memenuhi persyaratan sebagaimana dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Persyaratan agregat halus untuk CEBR

Saringan	Ukuran	% berat yang lewat
----------	--------	--------------------

(mm)	(ASTM)	
9.5	3/8"	100
4.75	# 4	90 – 100
2.36	# 8	20 – 100
0.600	# 30	5 – 100
0.075	# 200	1 – 100

Sumber: **Bina Marga, 1991**

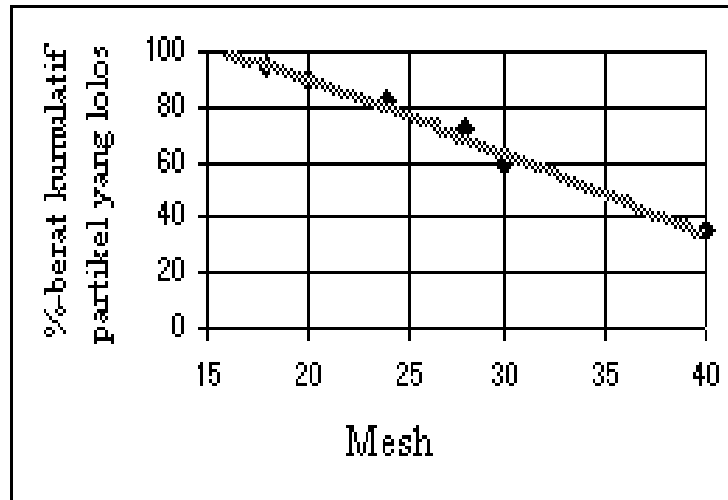
2.4. Abu Sekam

Abu hasil pembakaran sekam padi, yang pada hakikatnya hanyalah limbah, ternyata merupakan sumber silika/karbon yang cukup tinggi. Pirolisis lebih lanjut dari hasil pembakaran sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ mencapai 80 - 90%. Yang juga menarik, 15 %-berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Pemanfaatan abu sekam padi, dengan demikian, layak untuk dipikirkan (**Wanadri, A., 1999**).

Salah satu upaya pemanfaatan abu sekam padi yang telah banyak dicoba adalah mereaksikannya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat yang luas penggunaannya dalam industri, seperti sebagai bahan *filler* dalam pembuatan sabun dan detergen, bahan perekat (*adhesive*), dan jeli silika (*silica gel*) (Kirk and Orthmer, 1969 dalam **Wanadri, A., 1999**).

2.4.1. Gradasi Butiran Abu Sekam

Distribusi ukuran partikel abu sekam padi dari lapangan yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan dalam Gambar 2.1. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa partikel abu sekam padi didominasi oleh ukuran 20-30 µm, dan hanya sebagian kecil saja yang memiliki ukuran yang lolos 40 µm (**Wanadri, A., 1999**).



Gambar 2.4. Kurva distribusi partikel abu sekam padi
(Sumber: **Wanadri, A., 1999**)

2.4.2. Sifat Kimiawi Abu Sekam

Sekam padi merupakan bahan ahsil sampingan produk pertanian, sekam yang dibakar mempunyai sifat pozzolan yang mengandung unsure silikat yang tinggi, rata-rata SiO₂ 96,70% dengan Pozzolanic Activity Index 87%. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur padam dan air.

Tabel 2.6. Sifat kimiawi abu sekam

No.	Unsur	Kandungan (%)
1.	CaO	0.49
2.	K ₂ O	0.91
3.	MgO	0.22
4.	Na ₂ O	0.26
5.	TiO ₂	0.16
6.	Al ₂ O ₃	1.01
7.	P ₂ O ₅	0.01
8.	SiO ₂	96.70
9.	Fe ₂ O ₃	0.05
10.	MnO	0.19

Sumber: *Ceramic-Materials.com, 2004*

2.4.3. Abu Sekam sebagai Bahan Filler

Filler adalah kumpulan mineral yang sebagian besar lolos saringan No.200 (75 μ m). Fungsi dari *filler* adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat (kasar) yang diharapkan dapat meningkatkan kerapatan dan memperkecil permeabilitas dari campuran.

Disamping ukurannya yang harus relatif halus, bahan *filler* harus memiliki sifat-sifat tertentu seperti bersifat sementasi jika terkena air dan memiliki daya rekat yang tinggi dengan agregat lainnya (Mutohar, Y., 2002). Diantara bahan-bahan yang memiliki sifat sementasi jika terkena air dan banyak dipakai sebagai bahan *filler* adalah abu batu (*rock ash*), abu terbang (*fly ash*), *gypsum*, *portland cement* (PC), abu genteng dan lainnya.

Dari hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan (Muntohar A. S. dan B. Hantoro, 2001), abu sekam diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai *filler* pematat karena memiliki sifat sementasi, disamping ukuran butirannya yang relatif kecil (lolos No.200). Beberapa keuntungan yang jelas terlihat dari abu sekam sebagai bahan *filler* diantaranya keberlimpahan sekam sebagai residu padi memberikan prospek bagi pengadaan bahan *filler* yang relatif murah dibanding dengan bahan lain yang relatif mahal dan biasanya sulit didapat.

Tabel 2.7. Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	% Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,075 mm)	65 – 100

Sumber: Bina Marga, 1995

2.5. Penelitian Terdahulu

Belum ditemukan oleh penulis penelitian tentang kinerja abu sekam terhadap campuran aspal. Namun ditemukan beberapa penelitian yang berkaitan dengan abu sekam dan campuran aspal emulsi bergradasi rapat secara terpisah dengan tema yang berbeda-beda.

2.5.1. Penelitian oleh Priyatno, B. (2000)

Priyatno, B. (2000) meneliti tentang “ Pengaruh *gypsum sintetik* ($CA SO_4 2H_2O$) dan *portland cement* sebagai bahan *filler* terhadap sifat marshall dan permeabilitas campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR)” yang bertujuan mengukur karakteristik CEBR akibat penambahan *filler gypsum sintetic* dan *portland cement* dengan uji Marshall. Hasil-hasil penelitian dapat dirangkum sebagai berikut:

- a. Nilai densitas untuk *filler* semakin meningkat sampai batas maksimum pada kadar *filler* 5,5% dan kadar residu 5,4%.
- b. Total rongga udara minimum tercapai saat *filler* sebesar 5,5 % dan residu 4,5 %.
- c. Semakin tinggi kadar *filler* semakin baik sifat permeabilitasnya.
- d. Stabilitas *filler gypsum* menunjukkan kinerja lebih baik pada kondisi kering sementara *filler portland cement* lebih baik pada kondisi rendaman. Begitu juga untuk karakter stabilitas sisa, gypsum menunjukkan kinerja lebih baik dibanding portland cement namun keduanya rata-rata diatas persyaratan yang ada.

2.5.2. Penelitian oleh Mutohar, Y. (2002)

Mutohar, Y. (2002) meneliti tentang “Evaluasi Pengaruh bahan *filler fly ash* terhadap karakteristik campuran aspal emulsi bergradasi rapat (CEBR)” yang bertujuan menganalisis pengaruh *fly ash* sebagai bahan *filler* pada CEBR dengan menggunakan uji Marshall yang dimodifikasi (modified Marshall). Hasil-hasil penelitian dapat dirangkum sebagai berikut:

- a. Kadar optimum *filler fly ash* dan abu batu dalam campuran sebesar 4,6 % dan kadar residu sebesar 5,625%.
- b. Pada kondisi kadar bahan *filler fly ash* optimum didapat nilai kerapatan sebesar 2,11 gr/cc, nilai rongga 16,67%, absorpsi 1,05%, stabilitas rendaman 850,9 kg, stabilitas kering 872,35 kg, stabilitas sisa 97,54 % dan koefisien permeabilitas 0,000236 cm/dt.

- c. Semakin banyak *filler* jutru membuat proses pemadatan tidak optimum.

2.5.3. Penelitian oleh Muntohar, A. S. dan B. Hantoro (2001)

Penelitian tentang abu sekam sendiri sudah pernah dilakukan oleh **Muntohar, A. S. dan B. Hantoro (2001)**. Penelitian ini mencoba melihat pengaruh abu sekam terhadap proses stabilisasi tanah lempung. Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

- a. Abu sekam dapat mengurangi kembang susut dari tanah lempung dengan melihat penurunan indeks plastis-nya dari 41,25% menjadi 0,96% pada kadar abu sekam 12-12,5 %.
- b. Potensi kembang susutnya sendiri menurun dari 19,23 % menjadi 0,019 %.
- c. Nilai CBR tanah meningkat dari 3,03% menjadi 16,3% pada kadar abu sekam 6-12.5%.
- d. Friksi internalnya meningkat dari 5,36 menjadi 23,85.
- e. Kohesi tanahnya meningkat dari 54.32 kN/m² menjadi 157,19 kN/m².
- f. Peningkatan parameter geser akibat CBR menjadi 4.131 kN/m² dari yang sebelumnya 391,12 kN/m².
- g. Pada kadar abu sekam 6-10%, penurunan konsolidasi mengecil, yaitu dari 0,03 menjadi 0,006.

2.5.4. Penelitian oleh Herina, S. F. (2000)

Herina, F. S. (2000) melakukan penelitian dengan judul “Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Fondasi Ekspansif Untuk Bangunan Sederhana”. Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

- e. Abu sekam padi yang mengandung silikat tinggi dapat bersifat sementasi jika dicampur dengan kapur dan air, dengan memaksimalkan sifat ini diharapkan abu sekam dapat mengendalikan ketidak stabilan tanah ekspansif dengan mengikat mineral penyebab ekspansinya(montmorillonite)
- f. Komposisi campuran 5% abu sekam + kapur dan 95% tanah asli memberikan kadar air optimum 27,42%, dan berat isi 0,55 gr/cm³
- g. Melalui tahapan campuran yang benar komposisi 5% bahan stabilisator mampu meningkatkan kestabilan dan daya dukung fondasi.

- h. Campuran dengan komposisi 15% bahan stabilisator menunjukkan hasil yang sedikit berbeda dengan komposisi 5%.
- i. Hasil maksimal kajian hanya dapat diperoleh setelah melewati 2 musim

2.5.5. Penelitian oleh Wanadri, A. (1999)

Wanadri, A. (1999) melakukan penelitian dengan judul “Penerapan *Spouted-Bed* Dalam Pembuatan Natrium Silikat Dari Abu Sekam Padi: Hidrodinamika, Perpindahan Massa, Dan Perolehan Silikat”. Penelitian ini mengkhususkan diri untuk meneliti karakter kimiawi abu sekam. Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

- a. Studi hidrodinamika abu sekam padi dengan fluida air menunjukkan bahwa spouting yang baik dengan rentang Reynold partikel yang cukup besar diperoleh bila diameter partikel abu sekam padi lebih besar dari 0,72 mm (30- 40 mesh). Kecepatan minimum spouting untuk studi hidrodinamika abu sekam padi-air telah terangkum dalam bentuk persamaan.
- b. Pemodelan perpindahan massa dalam rezim transisi, Re partikel 7 sampai 25, memberikan korelasi perpindahan massa yang mendekati korelasi Rowe and Claxton (Marthur and Epstein, 1974) untuk aliran transisi, dengan catatan bahwa harga perpindahan massa tanpa aliran ($Re= 0$) cukup tinggi sebagai akibat adanya reaksi dalam sistem ini. Penelitian untuk rentang Re yang lebih besar (rezim turbulen) perlu dilakukan untuk penelitian yang akan datang. Selain itu, sangat diperlukan upaya mendapatkan kejelasan tentang reaksi yang sebenarnya terjadi.
- c. Aplikasi tahap awal reaktor spouted-bed (diameter kolom 5 cm) untuk reaksi padat-cair menunjukkan hasil yang cukup menggembirakan, seperti perolehan silikat yang relatif tinggi sekitar 62% untuk konsentrasi NaOH 0,8 M. Ini adalah tampilan unjuk kerja yang lebih baik daripada hasil-hasil penelitian sebelumnya dan ditegaskan ulang oleh tempuhan pembeding.
- d. Dugaan sangat kuat mengenai terganggunya hidrodinamika partikel (sehingga jauh dari sifat spouting) akibat perubahan ukuran diameter partikel selama reaksi diperoleh secara tidak langsung dari catatan tentang konversi SiO_2 untuk berbagai ukuran partikel dan konsentrasi NaOH. Pemakaian partikel pendukung

yang tepat untuk menjaga kehomogenan unggun dan/atau pemakaian draft tube akan memberikan daerah spouting yang stabil (Nitta and Morgan III, 1992)

- e. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang tinggi dalam produk tercapai saat perolehan silikat hampir konstan. Rasio semakin kecil bila waktu reaksi semakin lama. Sayangnya, ditemui bahwa kondisi untuk mendapatkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ yang tinggi mengakibatkan perolehan silikat rendah dalam reaktor spouted-bed. Tawar-menawar untuk kedua paramater ini selanjutnya perlu mendapat perhatian

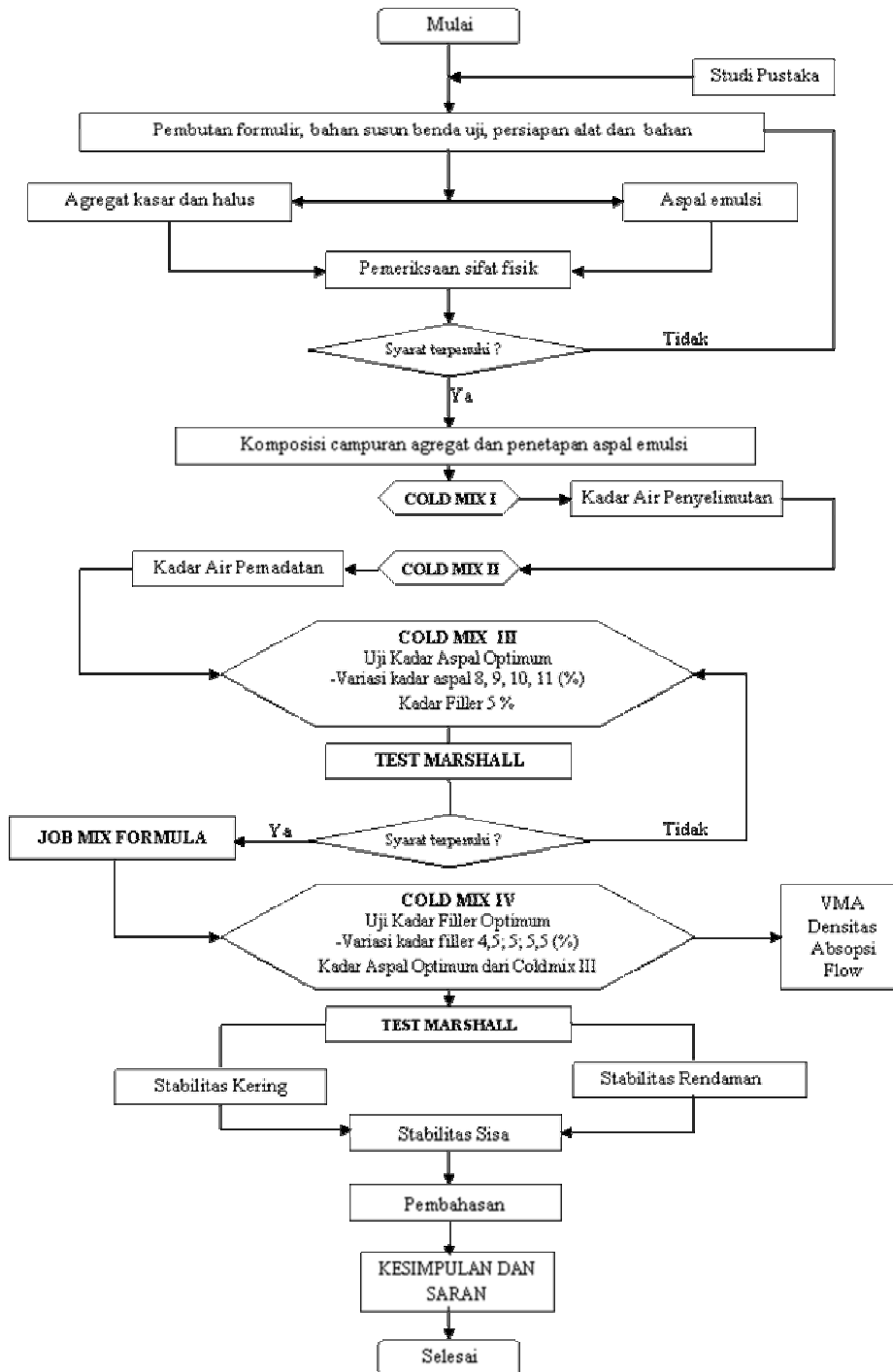
2.5.6. Penelitian oleh Hossain, ASMM (1991)

Dalam penelitian yang berjudul “*Stabilization Of Alluvial Soils With Cement And Cement-Rice Husk Ash Blend For Low-Volume Road Construction In Bangladesh*” **Hossain, ASMM (1991)** meneliti perilaku semen dicampur abu sekam terhadap stabilisasi tanah alivial. Hasil-hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Cement-treated alluvial soils satisfy the durability criteria recommended by the Portland Cement Association (PCA) at about 9% cement content. At this cement content, however, they do not attain the specified minimum unconfined compressive strength.*
- b. *Silty soils stabilized with only 2% cement content show considerable gain in unconfined compressive strength over untreated soil. RHA can be blended with cement to stabilize silty soils.*
- c. *A partial replacement of cement by as much as 25% of ash by weight is possible without impairing durability or appreciably decreasing strength compared with samples containing cement only. RHA addition results in an increase in volume on wetting of the soil-cement-RHA mixture and decreases the maximum dry density of the soil. Higher ash content results in an increase in the plasticity of the cement-RHA-stabilized soil.*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.7. Diagram Kerja Penelitian



Gambar 3.1. Diagram kerja penelitian

Sebagai kerangka kerja dari penelitian ini adalah diagram kerja sebagaimana terlihat pada gambar 3.1. Gambar 3.1 secara garis besar mempunyai empat tahap pokok yang harus dilalui dalam pelaksanaan pengujian di laboratorium yaitu tahap persiapan, tahapan pemeriksaan bahan, tahap perencanaan campuran dan tahap pengujian benda uji.

1.8. Persiapan Bahan dan Peralatan

3.1.3. Bahan yang Dibutuhkan

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan untuk pembuatan benda uji nantinya berupa:

a. Agregat

Meliputi agregat kasar dan halus.

- 1) Agregat kasar menggunakan bahan dari jenis batu pecah dengan ukuran nominal 19 mm sampai 3 mm.
- 2) Agregat halus menggunakan campuran antara batu pecah dan pasir muntulan dengan ukuran nominal 0,2 mm sampai 0,91 mm.

b. Filler

Filler menggunakan butiran halus berukuran nominal 200 mesh dari abu sekam, yaitu sisa pembakaran sekam residu padi.

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi menggunakan jenis kationik CSS-1 (*Cationik Slow Setting tipe II-60*) produksi PT. Utama Prima, Cilacap, Jawa Tengah. Jenis ini dipilih karena paling banyak tersedia di Indonesia (**Bina Marga, 1991**).

3.1.4. Peralatan yang Dibutuhkan

Peralatan yang akan digunakan meliputi:

a. Alat pemeriksaan agregat

Terdiri dari mesin Los Angeles (uji abrasi), saringan standar, oven, bak perendam, alat uji *sand equivalent*, timbangan, dan alat uji berat jenis dan penyerapan.

b. Alat pemeriksaan aspal emulsi

Terdiri dari pikometer, timbangan, alat uji penetrasi, destilasi, alat uji muatan partikel, alat uji Saybolt furol *Viscosity*, dan bak perendaman.

c. *Alat uji karakteristik CEBR*

Yaitu alat uji Marshall

1.9. Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan ini digunakan untuk memastikan bahwa bahan-bahan yang akan digunakan untuk membentuk benda uji nantinya benar-benar sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan agregat dan pemeriksaan aspal emulsi.

3.1.5. Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat meliputi pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus. Adapun jenis-jenis pemeriksaan yang harus dilakukan mencakup:

- a. Analisa saringan (*AASHTO T27-82*), dipakai untuk mengetahui gradasi agregat kasar dan halus yang memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan (Tabel 3.1.)
- b. Pemeriksaan keausan dengan mesin Los Angeles
- c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus (*AASHTO T84-81*)
- d. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar (*AASHTO T85-81*)

Agregat kasar dan agregat halus yang diperiksa harus memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh **Bina Marga (1991)** sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.1. Persyaratan gradasi agregat kasar dan halus untuk CEBR Tipe III/25

Saringan (mm)	Ukuran (ASTM)	% berat yang lewat	
		Agregat Kasar	Agregat Halus
50	2"	100	-
37.5	1 1/2"	90 – 100	-
25	1"	20 – 100	-
12.5	1/2"	5 – 100	-
9.5	3/8"	0 – 100	100
4.75	# 4	0 – 30	90 – 100
2.36	# 8	0 – 10	20 – 100
0.600	# 30	-	5 – 100
0.075	# 200	0 – 5	1 – 100

Sumber: Bina Marga, 1991

Tabel 3.2. Persyaratan agregat kasar untuk CEBR

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat
1.	Keausan dengan mesin Los Angeles (%)	Maks. 40
2.	Penyerapan terhadap air (%)	Maks. 3
3.	Berat jenis semu (gr/cc)	Min. 2,5
4.	Berat jenis kering oven (gr/cc)	Min. 2,5
5.	Kelekatan terhadap aspal (%)	Min. 90

Sumber: Bina Marga, 1991

Tabel 3.3. Persyaratan agregat halus untuk CEBR

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat
1.	Nilai sand equivalent (%)	Min. 50
2.	Penyerapan terhadap air	Maks. 3
3.	Berat jenis semu (gr/cc)	Min. 2,5
4.	Berat jenis kering oven (gr/cc)	Min. 2,5

Sumber: Bina Marga, 1991

3.1.6. Pemeriksaan aspal emulsi

Pemeriksaan aspal emulsi yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji CEBR bertujuan untuk memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh *The Asphalt Institute MS-19 (1979)* sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.4.

Adapun jenis-jenis pemeriksaan yang harus dilakukan adalah:

- a. *Sieve test* atau uji saringan, dipakai untuk mengetahui gradasi campuran. Alat yang dipakai adalah saringan berukuran 850 μm (AASHTO T59-82).
- b. *Viscosity test* atau uji kekenyalan, dipakai untuk mengetahui viskositas aspal emulsi (AASHTO T 59-82). Alat uji yang dipakai adalah *Saybolt Furol*. Hasil uji viskositas dinyatakan dalam satuan SF (1 SF = 0,02 stoke).
- c. *Storage stability test* atau uji stabilitas penyimpanan, dipakai untuk mengetahui keseragaman hamburan selama aspal disimpan (AASHTO T59-82). Hasil uji dinyatakan dalam persen (%).
- d. *Particle discharge test* atau uji kandungan muatan ion, suatu uji untuk mengetahui muatan atau kandungan ion pada partikel aspal emulsi. Hasil uji ini dapat berupa negatif atau positif.

- e. *Water content test* atau uji kadar air, uji untuk melihat kadar air yang terkandung dalam aspal emulsi. Hasilnya dinyatakan dalam prosen (%) terhadap kadar aspal (AASHTO T55-82).
- f. *Residue from destilation test* atau uji residu dari proses distilasi, uji untuk mengetahui kandungan bitumen atau residu dalam aspal emulsi (AASHTO T78-80)

Tabel 3.4. Persyaratan aspal emulsi kationik tipe CSS-1

No.	Jenis	Satuan	Syarat
1.	Kandungan air	%	-
2.	Stabilitas rendaman (24 jam)	%	0 - 1
3.	Viskositas	Cm ² /dt	20 - 100
4.	Homogenitas	%	0 - 0,1
5.	Residu	%	Min 57
6.	Penetrasi residu	(0,1 mm)	135 - 250
7.	Duktilitas residu	cm	Min 40

Sumber: The Asphalt Institute MS-19, 1979

1.10. Formulasi Campuran

Formulasi campuran bertujuan menentukan proporsi agregat dan mencari variasi kadar aspal emulsi dan *filler* yang akan digunakan untuk membentuk CEBR. Besar proporsi masing-masing agregat yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler* ditentukan menurut spesifikasi **Bina Marga (1991)** (Tabel 3.5). Dari masing-masing agregat kemudian digabung dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan prosentase gabungan yang sesuai dengan spesifikasi **The Asphalt Institute (1979)** dan **The Asphalt Institute (1990)** (Tabel 3.6).

Tabel 3.5. Fraksi rencana komposisi CEBR Tipe III/25

Fraksi Rencana Campuran	% Berat Total Campuran Standar	% Berat Total Campuran Rencana
Agregat kasar	45 – 70	52,5
Agregat sedang/halus	20 – 40	35
<i>Filler</i>	2 – 9	5,5

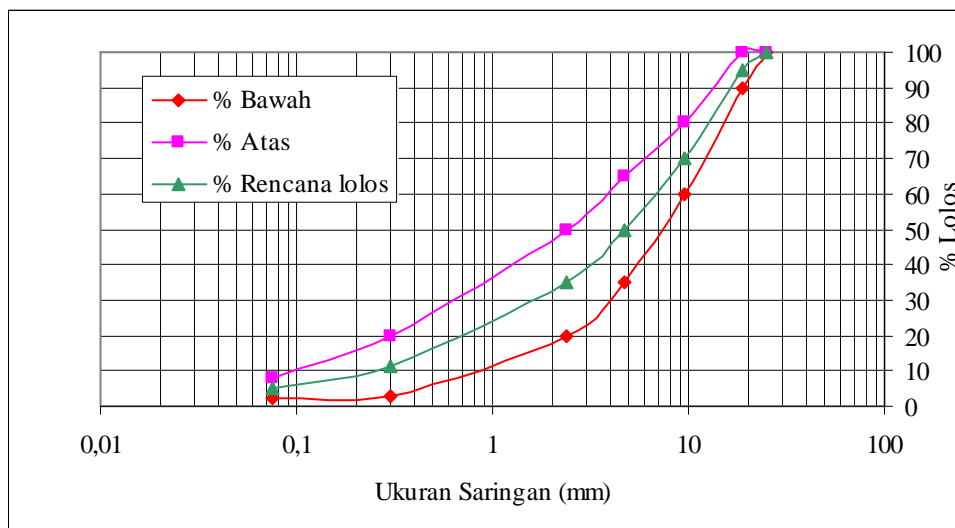
Sumber: **Bina Marga, 1991**

Tabel 3.6. Syarat gradasi agregat CEBR Tipe III/25

Saringan (mm)	Ukuran (ASTM)	% Berat yang Lewat
25	1"	100
19	¾ "	90 - 100
9,5	½ "	60 - 80
4,75	# 4	35 - 65
2,36	# 8	20 - 50
0,30	# 50	3 - 20
0,075	# 200	2 - 8
% Kandungan Pasir		Min 35%
% Abrasi (Los Angeles 500 putaran)		Maks 40%

Sumber: *The Asphalt Institute, 1979* dan *The Asphalt Institute, 1990*

Penentuan rencana komposisi agregat gabungan ditentukan dengan menggunakan metode grafis sebagaimana tampak dalam gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rencana komposisi agregat gabungan CEBR Tipe III/25 (sumber: Analisa, 2006)

Tabel 3.7. Komposisi rencana agregat berdasarkan analisa saringan

Saringan (mm)	Ukuran (ASTM)	% kumulatif berat yang lewat	% kumulatif berat yang tertahan	% berat yang tertahan	Berat Agregat (gr)	Jenis Agregat
25	1"	100	0	0	0	Kasar
19	¾"	95	5	5	60	
9,5	½"	70	30	25	300	
4,75	# 4	47,5	52,5	22,5	270	
2,36	# 8	35	65	12,5	150	Sedang
0,3	# 50	12,5	87,5	22,5	270	Halus
0,075	# 200	5,5	94,5	7	84	Pasir
<i>Filler</i>			100	5,5	66	<i>Filler</i>
Total				100	1200	

Sumber: Analisa, 2006

Tabel 3.8. Komposisi Rencana CEBR Tipe III/25

Agregat	Ukuran (mm)	% Rencana
<i>Filler</i>	-	5,5
Pasir	-	7,0
Agregat Halus	0 - 5	22,5
Agregat Sedang	5 - 10	12,5
Agregat Kasar	10 - 20	52,5
TOTAL		100,0

Sumber: Analisa, 2006

1.11. Komposisi Rencana

3.1.7. Benda Uji untuk Uji *Cold mix I*

Berat benda uji ditentukan menurut spesifikasi *The Asphalt Institute MS-19 (1979)* yaitu sebesar 1.000 gram. Benda uji dibuat dengan memakai proporsi agregat yang didapatkan dari analisa saringan. Jumlah benda uji pada tahap uji *Cold mix I* sebanyak 5 buah.

3.1.8. Benda Uji untuk Uji *Cold mix III* dan *Cold Mix IV*

Dari 5 variasi campuran, jumlah benda uji tiap variasi direncanakan masing masing 4 buah; 2 buah untuk uji tanpa rendaman (*dry test*) dan 2 buah untuk uji dengan

rendaman (*soaked test*). Uraian tentang komposisi *filler*, kadar aspal dan jumlah sampel yang direncanakan tercantum dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.9. Rancangan komposisi *filler*, aspal emulsi dan jumlah sampel pada benda uji Cold Mix III

Kadar Aspal (%) <i>Filler</i> (%)	8		9		10		11	
	2D	2S	2D	2S	2D	2S	2D	2S
5								

Sumber: Analisa, 2006

Tabel 3.10. Rancangan komposisi *filler*, aspal emulsi dan jumlah sampel pada benda uji Cold Mix IV

% aspal emulsi	% <i>Filler</i>					
	Abu Sekam 4,5		Abu Sekam 5		Abu Sekam 5,5	
8	2D	2S	2D	2S	2D	2S
9	2D	2S	2D	2S	2D	2S
10	2D	2S	2D	2S	2D	2S
11	2D	2S	2D	2S	2D	2S

Sumber: Analisa, 2006

1.12. Pengujian Benda Uji

3.1.9. Persiapan

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap peralatan yang akan dipakai untuk pengujian. Pemeriksaan meliputi kondisi fisik peralatan dan kalibrasi. Peralatan yang perlu dicek kalibrasinya adalah timbangan, alat tumbuk, peralatan Marshall, alat uji Permeabilitas dan uji Deformasi. Peralatan-peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

⇒ Satu set alat Uji Marshall

- 1) Mesin penekan
- 2) Kepala penekan (*breaking head*) lengkung
- 3) Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 3.500 kg (7.000 lbs) dengan kalibrasi 13,12 yang dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,001")
- 4) Arloji penunjuk kelelahan (*flow meter*) dengan ketelitian 0,01 mm

- 5) Cetakan benda uji berbentuk silinder \varnothing 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3"), dilengkapi dengan pelat alas dan leher sambung
- 6) 1 set alat bantu
- 7) Penumbuk dengan permukaan rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 45,7 cm
 - 7.a. Landasan padat
 - 7.b. Spatula
 - 7.c. *Ejector* hidrolis, digunakan untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan

- ⇒ Bak perendam
- ⇒ Oven yang suhunya diatur konstan sampai $\pm 40^0$ C
- ⇒ Satu set saringan 1", 3/4", 3/8", #4, #8, #50, #200
- ⇒ Panci dan sendok pencampur
- ⇒ Gelas ukur kapasitas 100 ml
- ⇒ Timbangan digital dan mekanik

a. Tahap Uji Cold mix

Uji *cold mix* dibagi menjadi 4 bagian yaitu *cold mix* I (uji kadar air penyelimutan), *cold mix* II (uji kadar air optimal pemadatan), *cold mix* III (uji kadar aspal emulsi optimum), dan *cold mix* IV (uji kadar *filler* optimum).

1) *Cold mix I*

Digunakan untuk menguji kemampuan aspal emulsi mencapai penyelimutan optimal melalui bantuan tambahan air dengan kadar tertentu terhadap agregat (**Mutohar, Y., 2002**).

- Bahan benda uji

Agregat diambil seberat 1.200 gram. Kadar aspal emulsi diambil dengan menggunakan rumusan SK-SNI-1992-02 sebagai berikut:

$$p = 0,05 A + 0,1 B + 0,5 C \dots\dots\dots (3.1)$$

atau

$$p = \frac{0,035A + 0,045B + kC + F}{R} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

p = kadar aspal emulsi, %

A = prosentase agregat kasar (yang tertahan saringan no.8)

B = prosentase agregat sedang (yang lolos saringan no.8, tertahan no.200)

C = prosentase agregat halus (yang lolos saringan no.200)

F = 0 – 2 %

R = 0,7 – 1,0 untuk campuran aspal beton

R = 0,6 – 0,65 untuk campuran aspal emulsi

k $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow 0,15 \text{ untuk } 11-15\% \text{ lolos no.200} \\ \rightarrow 0,18 \text{ untuk } 6 - 10 \% \text{ lolos no. 200} \\ \rightarrow 0,20 \text{ untuk } 5\% \text{ lolos no. 200} \end{array} \right.$

Prakiraan aspal emulsi; A = 60 ; B = 35 ; C = 5:

$$p = \frac{0,035(60) + 0,045(35) + 0,2(5) + 0,875}{0,625}$$

$$= \underline{\underline{9\%}}$$

Tabel 3.11. Rancangan benda uji pada Cold Mix I (pemeriksaan kadar air penyelimutan)

Kadar air tambahan (%) \ Kadar Aspal (%)	1	2	3	4	5
	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah
9	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah

Sumber: Analisa, 2006

Tabel 3.12. Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi dan air untuk benda uji I

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Penambahan Air		Total Air dalam Campuran		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5%	5,0%						
Gr							%	Gr	%	gr	%	Gr

50	250	200	150	225	75	50	9	90	1	10	5,23	52,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	2	20	6,23	62,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	3	30	7,23	72,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	4	40	8,23	82,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	5	50	9,23	92,3

Sumber: Analisa, 2006

- Tahapan pelaksanaan
 - (i) Masing-masing agregat dipanaskan dalam oven dengan suhu $\pm 105^0$ hingga berat tak berubah lagi
 - (ii) Agregat yang telah stabil dicampur sesuai dengan prosentase beratnya masing-masing (± 1.000 gr) dan ditempatkan dalam panci pengaduk.
 - (iii) Air bersih lalu ditambahkan pada campuran sedikit demi sedikit (1%-2% dari berat agregat), dan diaduk hingga rata ± 1 menit
 - (iv) Aspal emulsi selanjutnya dituangkan dalam jumlah tertentu sesuai dengan prosentase perkiraan terhadap berat kering agregat (9 %), dan diaduk selama ± 60 detik
 - (v) Campuran yang telah merata kemudian dibiarkan kering udara.
 - (vi) Saat sudah kering, prosentasi penyelimutannya dicatat. Jika kurang dari 75% luas permukaan, langkah (3) sampai (5) dilakukan pengulangan dengan penambahan kadar air pada agregat kering sampai diperoleh penyelimutan 75%
 - (vii) Jika penyelimutan tetap belum mencapai 75 % setelah penambahan air berulang-ulang, jumlah aspal emulsi perlu ditambah dan langkah (3) dan (6) diulangi lagi
 - (viii) Uji dihentikan saat penyelimutan aspal terhadap agregat terlihat lebih dari 75 %.

Kadar air yang digunakan pada saat kadar aspal penyelimutan telah mencapai 75 % atau lebih disebut **kadar air penyelimutan**. Kadar air ini selanjutnya digunakan pada uji *Cold Mix II*.

2) *Cold mix II*

Uji ini digunakan untuk menentukan kadar air optimum untuk campuran aspal emulsi. Tahapan pelaksanaannya sebagai berikut:

- (i) Penyiapan prosentase gradasi campuran sebesar 1.000 gr (untuk 1 benda uji)
- (ii) Penyiapan kadar air dengan perhitungan: persentase total kadar air penyelimutan dikurangi jumlah kadar air agregat dan kadar air aspal emulsi dikalikan dengan berat volume agregat.
- (iii) Penyiapan lilin, setelah sebelumnya diketahui data berat jenisnya.
- (iv) Dengan kadar air emulsi konstan, selanjutnya dibuat variasi kadar air campuran untuk mendapatkan kadar air optimum. Tiap variasi ada 2 buah benda uji.
- (v) Campuran selanjutnya dimasukan kedalam panci pengaduk dan diaduk hingga rata sambil dipadatkan dengan cetakan Marshall sebanyak 2x75 kali tumbukan (tiap sisi 50 tumbukan).
- (vi) Pengulangan langkah (5) sebanyak 5 kali untuk membuat 5 variasi kadar air yang berbeda.
- (vii) Campuran dibiarkan berada dalam cetakan selama ± 24 jam (sehari semalam) agar terjadi proses *setting*. Cetakan diletakan pada posisi terbaring.
- (viii) Setelah ± 24 jam, benda uji dikeluarkan lalu ditimbang. Setelah itu benda uji diselimuti (ditutup) dengan lilin cair panas sampai seluruh pori lilin tertutup.
- (ix) Selanjutnya benda uji didinginkan, setelah itu ditimbang dalam air.
- (x) Benda uji selanjutnya dipecah, lalu diambil beberapa bagian untuk diperiksa kadar airnya, tetapi bagian yang berlilin diusahakan tidak ikut terambil.
- (xi) Menghitung nilai berat jenis kering (*dry bulk specific gravity*) dan berat jenis basah (*bulk specific gravity*), dan menetapkan kadar air optimum pada saat *dry bulk specific gravity*-nya maksimum.

Kadar air pada saat berat jenis kering mencapai maksimum disebut **kadar air optimum pemadatan**. Kadar ini selanjutnya dipakai pada uji *Cold Mix* III.

Tabel 3.13. Rancangan benda uji pada Cold Mix II (pemeriksaan kadar air pemadatan)

Kadar air tambahan (%)	3	4	5	6	7
	Kadar Aspal (%)				
9	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah	2 Buah

Sumber: Analisa, 2006

Tabel 3.14. Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi dan air untuk benda uji II

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-baha-n Air	Kadar Air Hilang Target		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler				%	Gr	%
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5 %	5,0%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	3	5,53	55,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	5	3,53	35,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	6	2,53	25,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	7	1,53	15,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

3) *Cold mix III*

Uji ini digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan kadar air optimum pemadatan yang telah didapatkan pada *cold mix II*. Tahapan pelaksanaan uji *cold mix III* adalah sebagai berikut:

- (i) Penyiapan gradasi agregat sesuai prosentase berat lolos saringan.
- (ii) Dengan mengacu pada kadar air optimum, dilakukan penyiapan kadar aspal emulsi dengan variasi 8 %, 9 %, 10 % dan 11 %. Kadar *filler* ditetapkan 5 %. Selanjutnya, dilakukan pencampuran semua bahan tersebut. Campuran selanjutnya dimasukkan dalam panci dan diaduk hingga

merata lalu dipadatkan dalam cetakan dengan cara ditumbuk sebanyak 2 x 75 tumbukan (75 tumbukan per sisi).

- (iii) Benda uji dibiarkan selama ± 24 jam dengan posisi terbaring.
- (iv) Benda uji dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dimasukkan dalam oven dengan suhu $40^{\circ} - 41^{\circ} \text{ C}$ selama ± 24 jam.
- (v) Benda uji selanjutnya dikeluarkan dari oven untuk *Dry Modified Marshall Stability Test* pada suhu 28° C (suhu ruangan). Sebagian benda uji selanjutnya direndam dalam bak air dengan tinggi air separuh selama ± 24 jam, kemudian benda uji dibalik dan direndam pada sisi lainnya selama ± 24 jam juga. Setelah waktu 2 x 24 jam, benda uji dikeluarkan, dilap, ditimbang, lalu diuji dengan alat Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan.
- (vi) Benda uji ditimbang di udara, setelah itu dilapisi dengan lilin hingga merata lalu ditimbang dalam air untuk mendapatkan *bulk specific gravity*-nya. Selanjutnya benda uji diuji dengan alat Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan-nya, lalu diuji kadar air optimum-nya.

Kadar aspal pada saat nilai VMA minimum (5 – 10 %), absorpsi minimum (< 4 %), stabilitas rendaman maksimum (> 300 kg) dan stabilitas sisa maksimum (> 50 %) disebut **kadar aspal optimum**. Kadar ini selanjutnya dipakai pada uji *Cold Mix IV*.

Tabel 3.15. Rancangan benda uji pada *Cold Mix III* (pemeriksaan kadar aspal optimum)

Kadar aspal (%)	8		9		10		11	
Kadar Filler (%)	5		5		5		5	
	2D	2S	2D	2S	2D	2S	2D	2S

Keterangan: 2D = dua buah benda uji untuk tidak direndam (*dry*)
 2S = dua buah benda uji untuk direndam (*saturated*)

Tabel 3.16 Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada *Cold Mix III* dengan kadar *filler* abu sekam 5,0 %
 (a) Kadar Aspal : 8 % ; Kadar Air : 3,14 % + 4,69% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi		Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target	
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5 %	5,0%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	75	50	8	80	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	8	80	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	8	80	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	8	80	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

(b) Kadar Aspal : 9 % ; Kadar Air : 3,53 % + 4,30% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi		Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target	
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5 %	5,0%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

(c) Kadar Aspal : 10 % ; Kadar Air : 3,92 % + 3,91% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi		Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target	
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5 %	5,0%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	75	50	10	100	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	10	100	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	10	100	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	10	100	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

(d) Kadar Aspal : 11 % ; Kadar Air : 4,31 % + 3,52% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler				%	Gr	
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5 %	5,0%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	75	50	11	110	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	11	110	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	11	110	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	75	50	11	110	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

4) *Cold mix IV*

Uji *cold mix IV* digunakan untuk mengetahui kadar *filler* optimum pada campuran.

Tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- (i) Penyiapan gradasi agregat dengan prosentase berat tertahan
- (ii) Mengacu pada kadar aspal optimum, selanjutnya ditentukan kadar *filler* 4,5%; 5,0% dan 5,5%
- (iii) Mencampurkan air, aspal, agregat, dan *filler* lalu diaduk dalam panci hingga merata setelah itu memadatkannya dengan tumbukan sebanyak 2 x 75 kali (75 kali per sisi)
- (iv) Membiarkan campuran selama ± 24 jam dengan posisi terbaring
- (v) Benda uji dikeluarkan dari cetakan lalu dimasukkan dalam oven bersuhu 40⁰ C selama ± 24 jam
- (vi) Benda uji dikeluarkan dari oven untuk uji stabilitas Marshall kering yang dimodifikasi (*Dry Modified Marshall Stability Test*) pada suhu 28⁰ C (suhu ruangan). Sebagian benda uji selanjutnya direndam dalam bak air dengan tinggi air separuh tinggi benda uji selama ± 24 jam. Kemudian benda uji dibalik pada sisi yang lain dan direndam pula selama ± 24 jam. Setelah waktu 2 x 24 jam, benda uji dikeluarkan, dilap, ditimbang, lalu diuji dengan alat Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan

- (vii) Penimbangan benda uji di udara, setelah itu melapisinya dengan lilin hingga merata lalu menimbanginya lagi tapi dalam air untuk mendapatkan *bulk specific gravity*-nya. Selanjutnya pengujian benda uji dengan alat Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan, lalu terakhir menguji kadar air optimumnya

Kadar filler pada saat nilai VMA minimum (5 – 10 %), absorpsi minimum (< 4 %), stabilitas rendaman maksimum (> 300 kg) dan stabilitas sisa maksimum (> 50 %) disebut **kadar filler optimum**.

Tabel 3.17. Rancangan benda uji pada *Cold Mix IV* (pemeriksaan kadar filler optimum)

Kadar filler (%) Kadar Aspal Optimum (%)	4,5		5		5,5	
	2D	2S	2D	2S	2D	2S
9						

Keterangan: 2D = dua buah benda uji untuk tidak direndam (*dry*)
2S = dua buah benda uji untuk direndam (*saturated*)

Tabel 3.18. Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada *Cold Mix IV* dengan kadar *filler* abu sekam 4,5 %
Kadar Aspal : 9 % ; Kadar Air : 3,53 % + 4,30% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler				%	Gr	%
5%	25%	20%	15%	22,5 %	8,0 %	4,5%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	80	45	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	45	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	45	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	45	9	90	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

Tabel 3.19. Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada *Cold Mix IV* dengan kadar *filler* abu sekam 5,0 %
Kadar Aspal : 9 % ; Kadar Air : 3,53 % + 4,30% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,5%	5,0 %						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	80	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	80	50	9	90	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

Tabel 3.20 Komposisi benda uji kebutuhan agregat, aspal emulsi, air untuk benda uji pada *Cold Mix IV* dengan kadar *filler* abu sekam 5,5 %
Kadar Aspal : 9 % ; Kadar Air : 3,53 % + 4,30% + 0,70% = 8,53 %

Kebutuhan Agregat menurut gradasi							Kadar Aspal Emulsi	Hasil <i>Coating Test</i>	Pe-nam-bahan Air	Kadar Air Hilang Target		
¾"	3/8"	# 4	# 8	#50	#200	Filler						
5%	25%	20%	15%	22,5 %	7,0 %	5,5%						
Gr							%	Gr	%	%	%	Gr
50	250	200	150	225	70	55	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	70	55	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	70	55	9	90	8,53	4	4,53	45,3
50	250	200	150	225	70	55	9	90	8,53	4	4,53	45,3

Sumber: Hasil analisa, 2006

3.1.10. Uji Marshall

Pengujian Marshall mengacu pada standar AASHTO T245-82. Uji marshall dipakai pada uji *Cold Mix III* dan *Cold Mix IV* yang bertujuan mengetahui karakteristik CEBR. Cara pengujian Marshall sendiri dilakukan sebagai berikut:

- (i) Mengukur dimensi benda uji.
- (ii) Menyiapkan 2 buah benda uji untuk stabilitas kering (*Dry Modified Stability Test*) pada suhu 28⁰ C (suhu ruang), 2 buah untuk direndam dalam bak dengan air separuh tinggi benda uji. Perendaman dilakukan selama 2 x

24 jam (24 jam tiap sisi). Selanjutnya benda uji dikeluarkan untuk persiapan uji stabilitas basah (*Soaked Modified Marshall Stability Test*) setelah sebelumnya dilap dan ditimbang.

- (iii) Membersihkan kepala penekan Marshall, lalu melapisinya dengan oli.
- (iv) Meletakkan benda uji pada segmen di bawah kepala penekan. Segmen atas penekan dimasukkan dalam batang penuntun, kemudian kepala penekan diletakkan di atas mesin penguji.
- (v) Memasang arloji kelelahan diatas salah satu batang penuntun.
- (vi) Kepala penekan beserta benda uji dinaikan sampai menyentuh alas cincin penguji dan mengeset jarum arloji ke arah nol.
- (vii) Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit hingga pembebanan tercapai pada saat jarum arloji berhenti dan mulai kembali berputar menurun, lalu jarum arloji dibaca. Angka ini menunjukkan angka kelelahan.
- (viii) Setelah pembebanan selesai, segmen atas diangkat dan benda uji diambil dari kepala penekan. Dan uji selesai.

Tabel 3.21. Persyaratan Sifat Marshall CEBR Type III

No.	Parameter Marshall	Syarat
1	VMA	5 - 10 %
2	Stabilitas Rendaman	> 300 kg
3	Stabilitas Sisa	> 50 %
4	Penyerapan Air	< 4 %

Sumber: Bina Marga, 1990

1.13. Analisis

3.1.11. Kepadatan (*Density*)

Analisis kepadatan dihitung dengan menggunakan rumus-rumus dari **The Asphalt Institute (1990)**. Ada perhitungan kepadatan yaitu kepadatan benda uji dengan selimut parafin dan kepadatan benda uji pada kondisi jenuh air ($SSD = \text{saturated surface density}$).

a. Dengan Parafin atau lilin

- 1) Kepadatan (*Density*) atau Berat volume benda uji kering (*dry bulk specific gravity*)

Berat volume benda uji kering dihitung dengan rumus:

$$\delta_k = \delta_b \frac{100 + b}{100 + b + h} \dots\dots\dots (3.1)$$

2) Berat volume benda uji basah (*bulk specific gravity*)

Berat volume benda uji basah dihitung dengan rumus:

$$\delta_b = d_u / V \dots\dots\dots (3.2)$$

$$V = (d_{le} - d_{la}) - \frac{(d_{le} - d_u)}{\mu} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$h = (100 + b) \frac{\text{berat air}}{\text{berat campuran kering}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

δ_k = berat volume benda uji kering (*dry bulk specific gravity*) (gr/cc)

δ_b = berat volume benda uji basah (*bulk specific gravity*) (gr/cc)

d_u = berat benda uji di udara (gr)

V = volume benda uji (cc)

d_{le} = berat benda uji + lilin di udara (gr)

d_{la} = berat benda uji + lilin di dalam air (gr)

μ = berat jenis lilin (gr/cc)

b = kadar aspal dalam campuran (%)

h = kadar air saat uji (%)

b. Pada kondisi SSD (tanpa parafin)

Rumus yang digunakan sama seperti (3.1), (3.2), dan (3.4). Yang berbeda adalah rumus untuk volume yaitu:

$$V = (d_{ssd} - d_a) \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

d_{ssd} = berat benda uji SSD (gr)

d_a = berat benda uji di dalam air (gr)

3.1.12. Kadar rongga (*void*) (VMA)

a. Dengan Parafin

Tingkat rongga udara dalam benda uji dihitung dengan rumus:

$$VMA = 100 \frac{\left(\frac{100 + b + h}{\delta_b} - \frac{100}{q} \right)}{100 + b + h} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$k = 100 \frac{\left(\frac{100 + b + h}{\delta_b} - \frac{100}{q} - \frac{b}{a} \right)}{100 + b + h} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$l = k - \frac{\frac{100h}{\gamma_w}}{\delta_b} \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

VMA = rongga dalam agregat (vma) (%)

k = total rongga (vtm) (%)

l = rongga udara (%)

b = kadar aspal dalam campuran (%)

h = kadar air saat uji (%)

a = kadar aspal emulsi terhadap agregat (%)

δ_b = berat volume benda uji basah (*bulk specific gravity*) (gr/cc)

q = stabilitas yang terkoreksi (kg)

γ_w = berat volume air (gr/cc)

b. Tanpa parafin (SSD)

Rumus yang digunakan sama seperti (3.6), (3.7), dan (3.8). sedangkan untuk rumus volume sama dengan (3.5).

3.1.13. Tingkat penyerapan air

Tingkat penyerapan air dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{d_{ssd} - d_u}{d_u} 100\% \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

n = penyerapan air (%)

d_{ssd} = berat benda uji SSD (gr)

d_u = berat benda uji di udara (gr)

3.1.14. Nilai Marshall

Nilai Marshall dihitung menggunakan rumus:

a. Stabilitas (q)

$$q = k \times p \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan:

q = nilai stabilitas setelah dikalibrasi (kg)

p = nilai stabilitas terpakai (kg)

k = angka koreksi volume atau tebal benda uji

b. Stabilitas sisa

$$S_s = \frac{S_b}{S_k} 100\% \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan:

S_s = Stabilitas sisa (%) → tidak boleh kurang dari 80 %

S_b = stabilitas basah (*soaked modified marshall stability*) (kg), stabilitas benda uji setelah mengalami rendaman

S_k = stabilitas kering (*dry modified marshall stability*) (kg), stabilitas benda uji tanpa perendaman

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil-Hasil Uji

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik CEBR Tipe IV

Hasil pemeriksaan karakteristik CEBR meliputi hasil pemeriksaan bahan-bahan penyusun CEBR yaitu agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal.

a. Agregat kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti tampak dalam Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan secara keseluruhan terhadap agregat kasar menunjukkan bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang dianjurkan.

Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	Penyerapan terhadap air	%	Maks 3	2,1	Memenuhi
2.	Berat jenis kering	gr/cc	Min 2,5	2,6	Memenuhi
3.	Berat jenis semu	gr/cc	Min 2,5	2,8	Memenuhi
4.	Kelekatan terhadap aspal	%	Min 90	90,0	Memenuhi
5.	Keausan dengan Mesin Los Angeles	%	Maks 40	15,6	Memenuhi

Sumber: Hasil penelitian, 2006

b. Agregat halus

Hasil pemeriksaan agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti tampak dalam Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan secara keseluruhan terhadap agregat halus menunjukkan bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang dianjurkan.

Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	Penyerapan terhadap air	%	Maks 3	1,5	Memenuhi
2.	Berat jenis kering	gr/cc	Min 2,5	2,7	Memenuhi
3.	Berat jenis semu	gr/cc	Min 2,5	2,7	Memenuhi
4.	Nilai <i>sand equivalent</i>	%	Min 50	50,7	Memenuhi

Sumber: Hasil penelitian, 2006

c. Bahan *Filler*

Pemeriksaan bahan *filler* dilakukan dengan dua cara yaitu pemeriksaan saringan no.200 dan pemeriksaan berat jenis-nya. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil pemeriksaan bahan *filler* abu sekam

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Syarat	Hasil
1.	Lolos saringan no. 200	%	-	100
2.	Berat jenis abu sekam	gr/cc	-	1,7

Sumber: Hasil penelitian, 2006

d. Aspal Emulsi

Hasil pemeriksaan aspal emulsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti tampak dalam Tabel 4.4. Hasil pemeriksaan secara keseluruhan terhadap aspal emulsi menunjukkan bahwa aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang dianjurkan.

Tabel 4.4. Hasil pemeriksaan aspal emulsi

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Syarat	Hasil	Keterangan
1.	Kandungan Air	%	Maks 43	3,53	Memenuhi
2.	Homogenitas dengan Saringan	%	maks 0,1	0,08	Memenuhi
3.	Residu dari uji penguapan	%	min 57	57,9	Memenuhi
4.	Muatan Partikel	-	Positif	Positif	Memenuhi
5.	Penetrasi Residu	0,1 mm	100-250	137	Memenuhi
6.	Pengendapan 1 Hari	%	0 - 1	0,8	Memenuhi
7.	Pengendapan 5 Hari	%	0 - 5	4,4	Memenuhi
8.	Duktilitas	cm	min 40	135	Memenuhi
9.	Viskositas	detik	20 - 100	28 detik	Memenuhi

Sumber: Hasil penelitian, 2006

4.1.2. Hasil Uji *Cold mix I*

Uji *cold mix I* dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar air yang dibutuhkan pada saat penyelimutan aspal emulsi terhadap agregat melebihi 75 %. Hasil uji *cold mix I* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil uji kadar air penyelimutan (*filler* abu sekam)

No	Berat Benda Uji	Kadar Aspal Emulsi	Lama Pencampuran	Waktu Pengujian	Penaambahan Air	Kadar Air Emulsi	Kadar Air Agregat	Total Air dalam Campuran	Besar Penyelimutan
	gr	%	dt	jam	%	%	%	%	%
1	1000	9	60	15	1	3,53	0,7	5,23	50
2	1000	9	60	15	2	3,53	0,7	6,23	55
3	1000	9	60	15	3	3,53	0,7	7,23	65
4	1000	9	60	15	4	3,53	0,7	8,23	70
5	1000	9	60	15	5	3,53	0,7	9,23	85

Sumber: Hasil penelitian, 2006

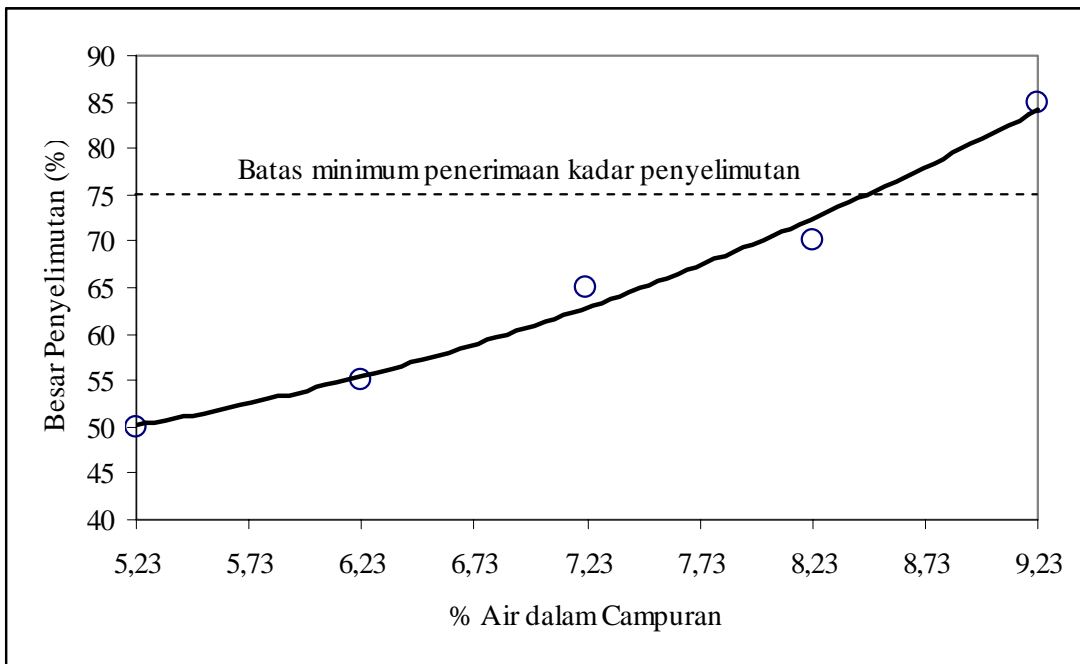
Tabel 4.6. Hasil uji kadar air penyelimutan (*filler* abu terbang)

No	Berat Benda Uji	Kadar Aspal Emulsi	Lama Pencampuran	Waktu Pengujian	Penaambahan Air	Kadar Air Emulsi	Kadar Air Agregat	Total Air dalam Campuran	Besar Penyelimutan
	gr	%	dt	jam	%	%	%	%	%
1	1000	9	30	90	1	3,92	0,88	5,085	45
2	1000	9	30	90	2	3,92	0,88	6,085	55
3	1000	9	30	90	3	3,92	0,88	7,085	65
4	1000	9	30	90	4	3,92	0,88	8,085	70
5	1000	9	30	90	5	3,92	0,88	9,085	80

Sumber: Mutohar, Y., 2002

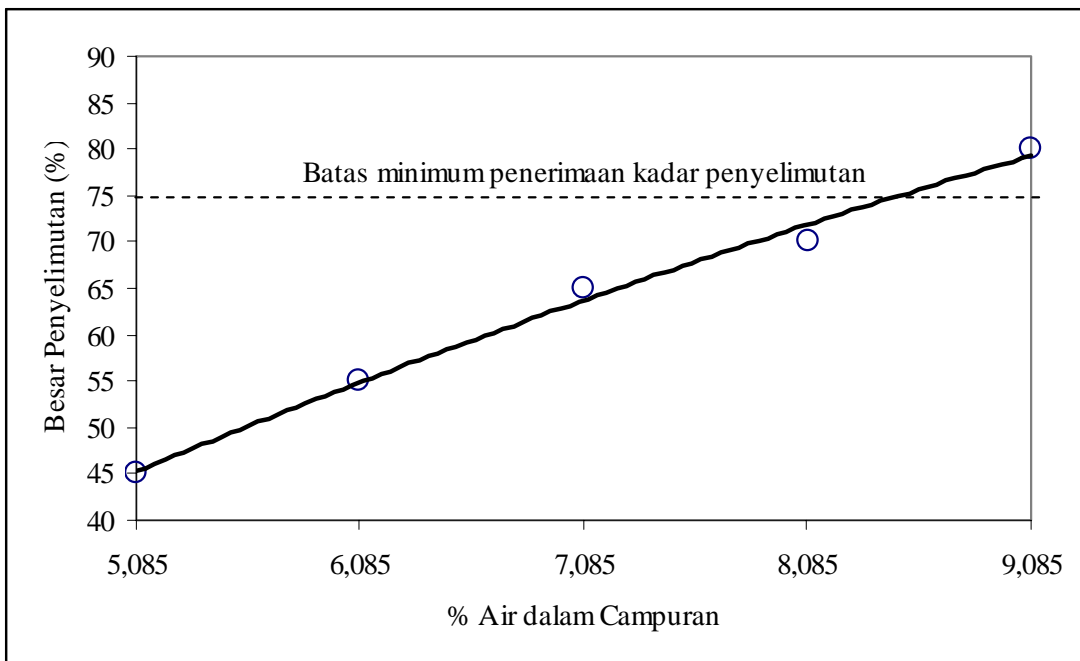
Dari hasil *cold mix* I diketahui bahwa penyelimutan aspal emulsi terhadap agregat mencapai lebih dari 75 %, terjadi pada saat kadar air dalam campuran mencapai 9,23 % dari berat total agregat. Sebagai perbandingan, untuk uji yang sama menggunakan *filler* abu terbang, kadar air penyelimutan terjadi saat kadar air dalam campuran mencapai 9,085 % (Mutohar, Y., 2002).

Pada uji selanjutnya (uji *cold mix* II) akan dipakai kadar air 9,23 %.



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara kadar air dengan kadar penyelimutan (%) (abu sekam)

Sumber: Hasil penelitian, 2006



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara kadar air dengan kadar penyelimutan (%) (abu terbang)

Sumber: Mutohar, Y., 2002

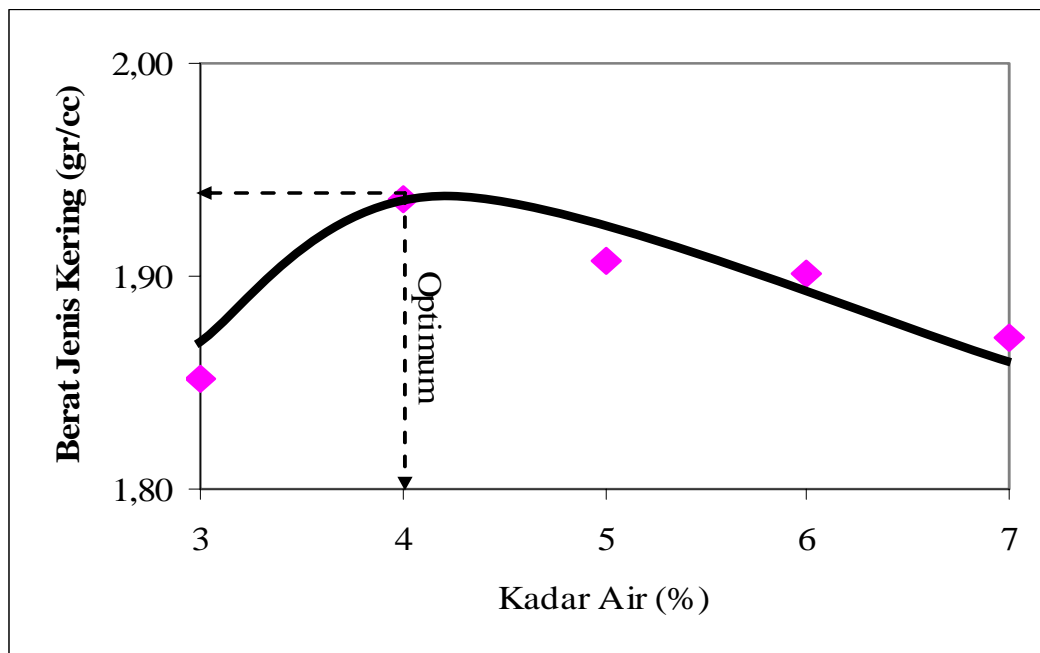
4.1.3. Hasil Uji *Cold mix* II

Uji *cold mix* II dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar air yang dibutuhkan pada saat berat jenis kering benda uji mencapai maksimum. Hasil uji *cold mix* II selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil uji kadar air pemadatan (*filler* abu sekam)

Kadar Air	Berat Benda Uji			Volume Benda Uji	Berat Jenis Basah	Kadar Air Saat Pengujian	Berat Jenis Kering
	di Udara	+ Lilin di Udara	+ Lilin di Air				
%	gr	gr	gr	$(5-6)-(5-4)/u$	$(4/7)$		
	4	5	6	cc	gr/cc	%	gr/cc
	4	5	6	7	8	9	10
3	1069,8	1076,3	543,6	526,3	2,03	3,47	1,833
3	1064,6	1075,7	551,7	513,0	2,08	3,51	1,870
Rata-rata					2,054		1,851
4	1064,1	1069,5	569,5	494,7	2,15	3,33	1,942
4	1070,1	1077,0	576,2	494,0	2,17	4,69	1,931
Rata-rata					2,159		1,937
5	1071,8	1078,0	582,1	489,8	2,19	3,20	1,978
5	1062,0	1068,2	534,3	527,8	2,01	2,17	1,837
Rata-rata					2,100		1,907
6	1062,9	1069,9	559,6	503,4	2,11	4,35	1,888
6	1076,6	1086,0	574,0	502,7	2,14	4,35	1,915
Rata-rata					2,127		1,902
7	1065,3	1072,6	565,9	499,5	2,13	3,13	1,929
7	1062,1	1074,2	533,7	528,5	2,01	3,34	1,814
Rata-rata					2,071		1,872

Sumber: Hasil penelitian, 2006



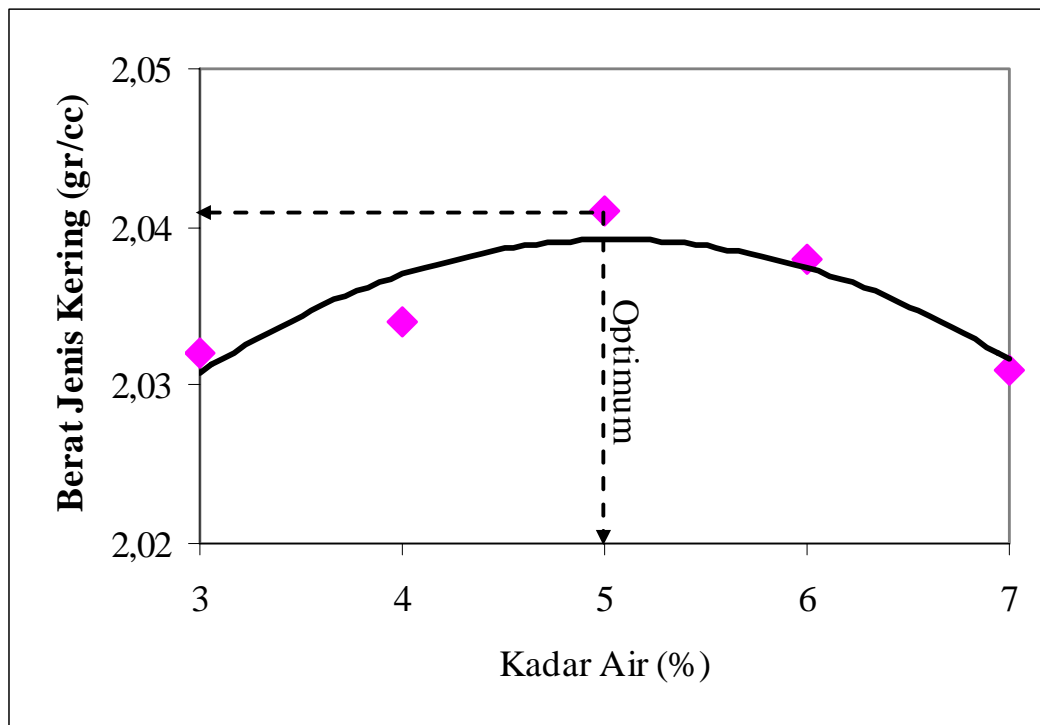
Gambar 4.3. Grafik hubungan kadar air dengan berat jenis kering (gr/cc) (*filler* abu sekam)

Sumber: Hasil penelitian, 2006

Tabel 4.8. Hasil uji kadar air pematatan (*filler* abu terbang)

Kadar Air	Berat Benda Uji			Volume Benda Uji	Berat Jenis Basah	Kadar Air Saat Pengujian	Berat Jenis Kering
	di Udara	+ Lilin di Udara	+ Lilin di Air				
%				$(5-6)-(5-4)/u$	$(4/7)$		
	gr	gr	gr	cc	gr/cc	%	gr/cc
	4	5	6	7	8	9	10
3	1090	1100	582	502.97	2,167	4,127	2,035
3	1083	1091	576	501.98	2,157	4,415	2,028
Rata-rata							2,032
4	1087	1096	619	463.366	2,346	4,52	2,032
4	1088	1099	588	495.050	2,198	4,219	2,036
Rata-rata							2,034
5	1088	1094	603	480.198	2,266	4,127	2,032
5	1080	1083	601	474.257	2,277	4,996	2,050
Rata-rata							2,041
6	1068	1073	552	510.891	2,090	2,019	2,044
6	1059	1065	567	487.129	2,174	2,565	2,021
Rata-rata							2,033
7	1048	1055	520	528.07	1,985	2,12	2,027
7	1059	1067	530	529.08	2,002	2,34	2,035
Rata-rata							2,031

Sumber: Mutohar, Y., 2002



Gambar 4.4. Grafik hubungan kadar air dengan berat jenis kering (gr/cc) (abu terbang)

Sumber: Mutohar, Y., 2002

Dari tabel 4.7 dan gambar 4.3 terlihat bahwa berat jenis kering maksimum (1,937 gr/cc) terjadi pada saat kadar air mencapai 4 % dari berat total agregat. Ini berarti kadar air pemadatan optimum hasil uji *cold mix* II sebesar 4 %.

Sebagai perbandingan, untuk uji yang sama menggunakan abu terbang diketahui bahwa kadar air pemadatan optimum sebesar 5 % saat berat jenis maksimum mencapai 2,127 gr/cc.

Pada uji selanjutnya (uji *cold mix* III) dipakai kadar air 4 %.

4.1.4. Hasil Uji *Cold mix* III

Uji *cold mix* III dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar aspal optimum pada saat berat jenis kering benda uji mencapai maksimum. Hasil uji *cold mix* III selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil uji *cold mix* III (*filler* abu sekam)

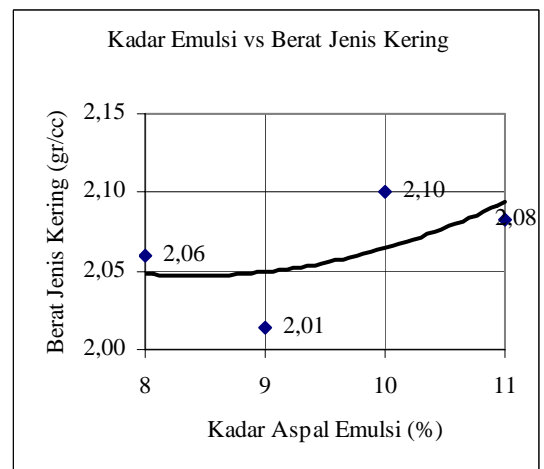
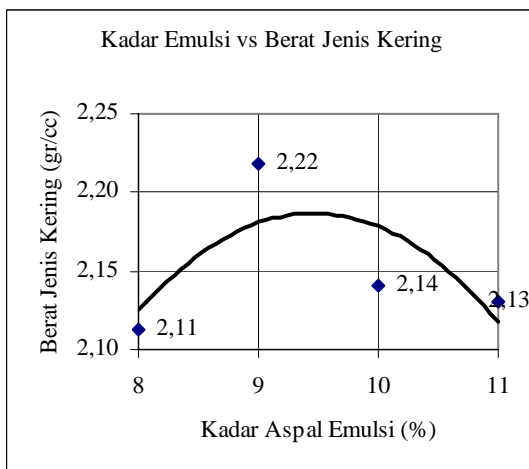
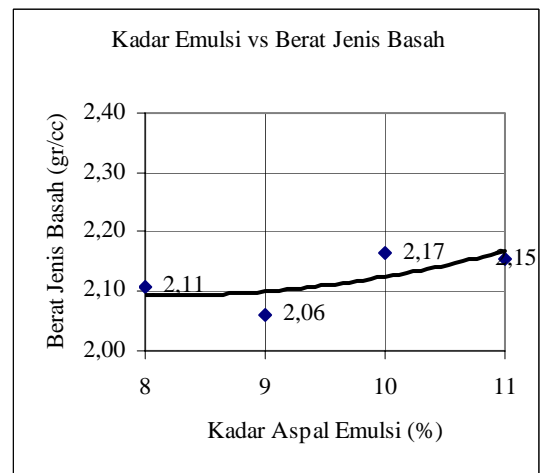
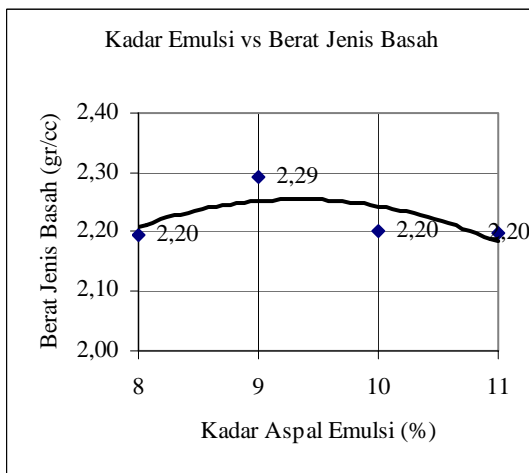
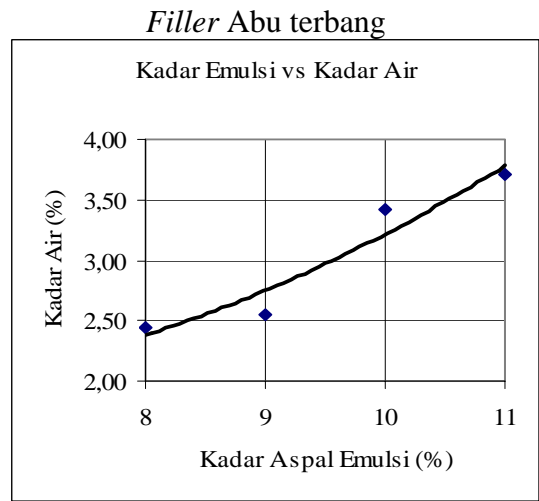
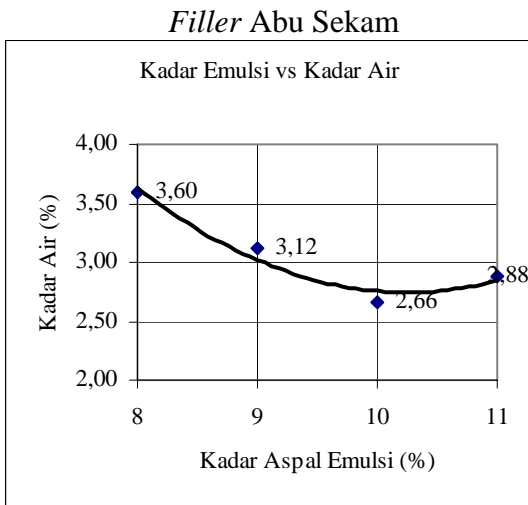
No.	Sifat CEBR	Kadar Aspal Emulsi (%)			
		I	II	III	IV
		8	9	10	11
1.	Kadar Air (%)	3,60	3,12	2,66	2,88
2.	Berat jenis basah (gr/cc)	2,20	2,29	2,20	2,20
3.	Berat jenis kering (gr/cc)	2,11	2,22	2,14	2,13
4.	VMA (%)	12,30	8,45	11,28	11,65
5.	Rongga (%)	5,70	3,29	7,85	7,47
6.	Total Rongga (%)	9,83	7,02	10,94	10,80
7.	Penyerapan (%)	2,91	2,20	2,74	3,03
8.	Stabilitas Kering (kg)	887,06	865,25	850,71	807,08
9.	Stabilitas Basah (kg)	778,00	807,08	770,73	734,37
10.	Stabilitas Sisa (%)	87,70	93,28	90,60	90,99
11.	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	5,0	4,3	4,4	4,6

Sumber: Hasil penelitian, 2006

Tabel 4.10. Hasil uji *cold mix* III (*filler* abu terbang)

No.	Sifat CEBR	Kadar Aspal Emulsi (%)			
		I	II	III	IV
		8	9	10	11
1.	Kadar Air (%)	2,45	2,54	3,42	3,71
2.	Berat jenis basah (gr/cc)	2,11	2,06	2,17	2,15
3.	Berat jenis kering (gr/cc)	2,06	2,01	2,10	2,08
4.	VMA (%)	5,59	6,24	4,97	5,16
5.	Rongga (%)	10,50	12,40	7,05	7,10
6.	Total Rongga (%)	15,17	17,08	13,51	14,24
7.	Penyerapan (%)	0,99	0,92	1,04	1,03
8.	Stabilitas Kering (kg)	886,60	1.104,00	1.051,00	1.010,00
9.	Stabilitas Basah (kg)	794,37	991,85	956,58	903,43
10.	Stabilitas Sisa (%)	89,88	89,96	91,17	89,57
11.	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	3,88	3,79	3,91	3,91

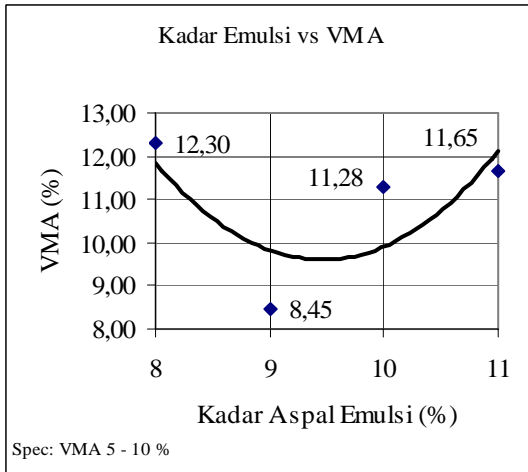
Sumber: Mutohar, Y., 2002



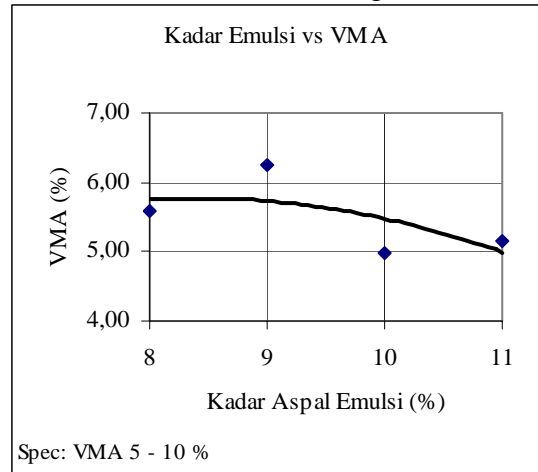
Gambar 4.5. Grafik 11 parameter uji *Cold mix III*

Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

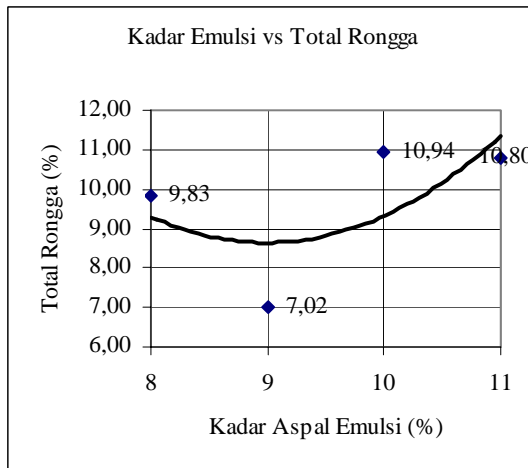
Filler Abu Sekam



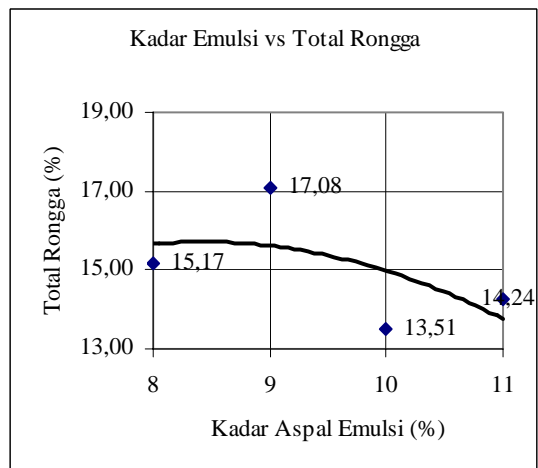
Filler Abu terbang



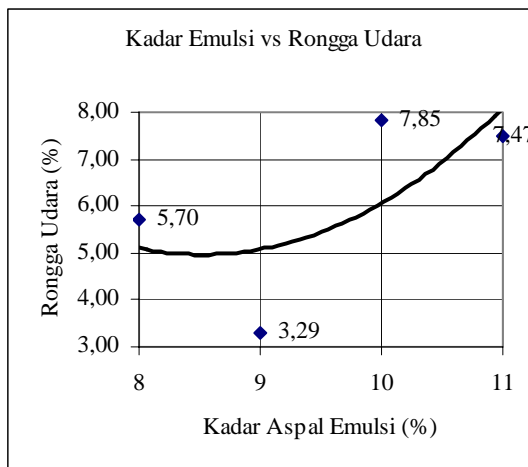
Kadar Emulsi vs Total Rongga



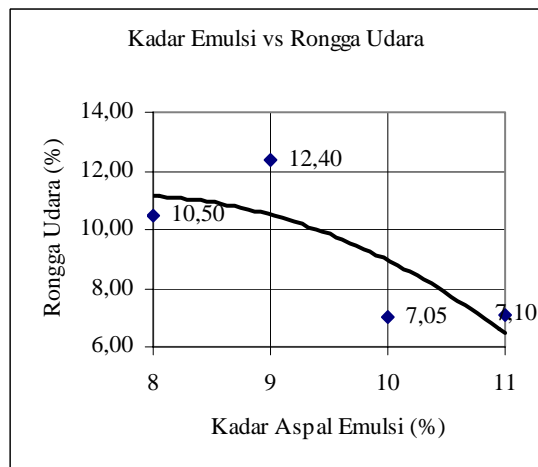
Kadar Emulsi vs Total Rongga



Kadar Emulsi vs Rongga Udara



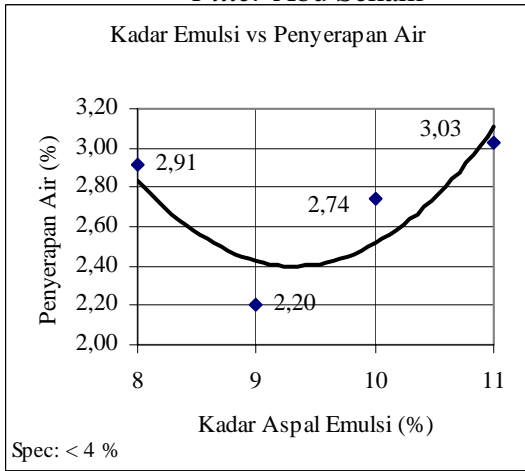
Kadar Emulsi vs Rongga Udara



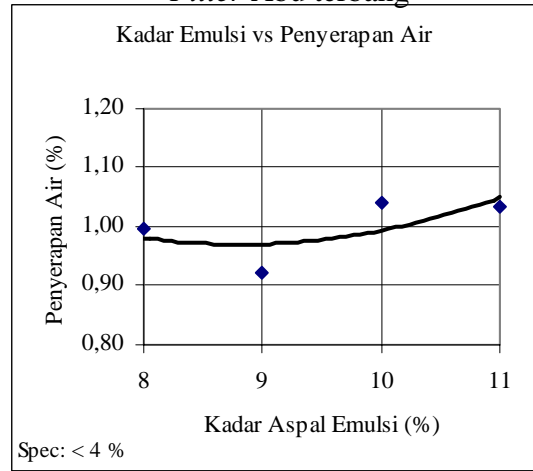
Lanjutan Gambar 4.5. Grafik 11 parameter uji *Cold mix III*

Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

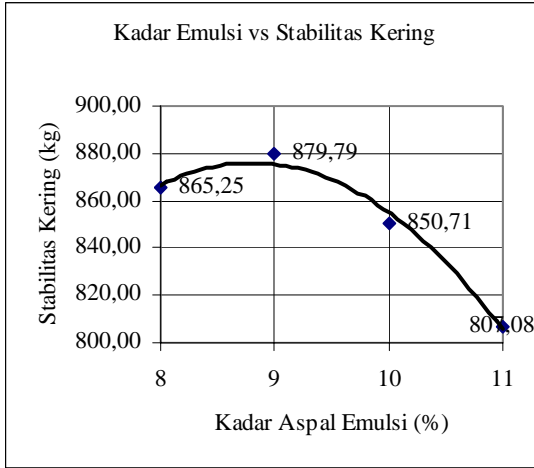
Filler Abu Sekam



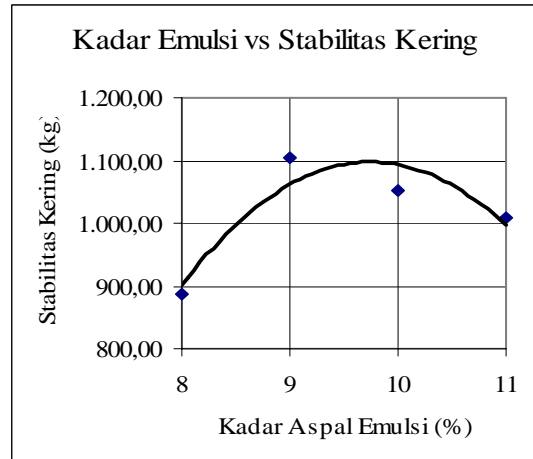
Filler Abu terbang



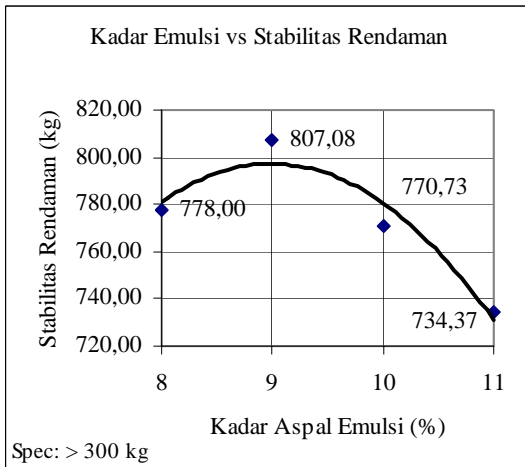
Kadar Emulsi vs Stabilitas Kering



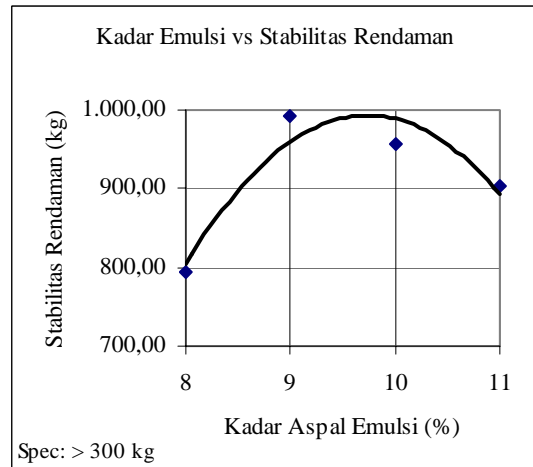
Kadar Emulsi vs Stabilitas Kering



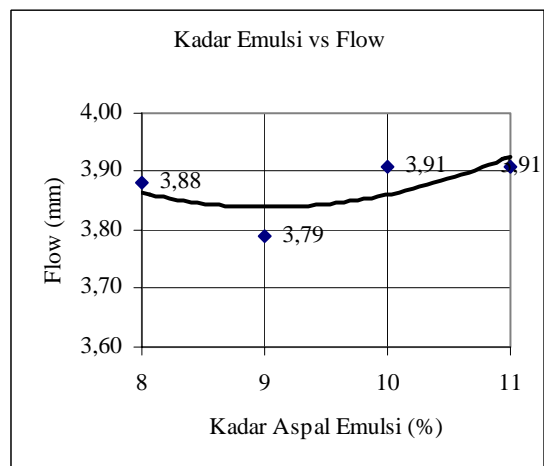
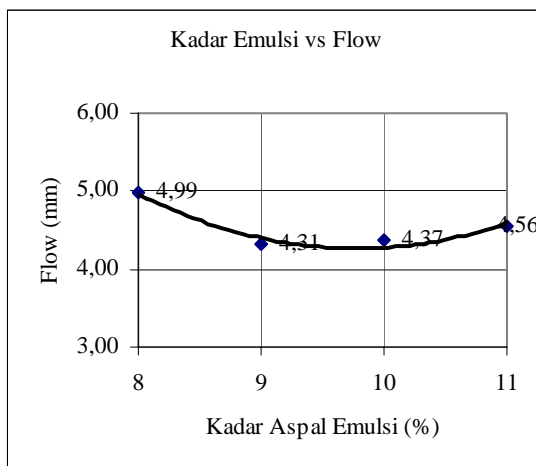
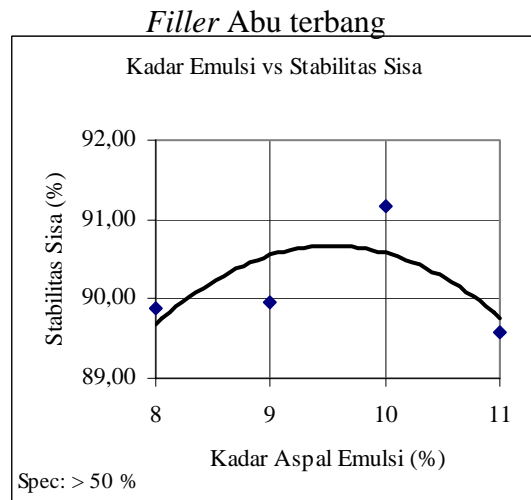
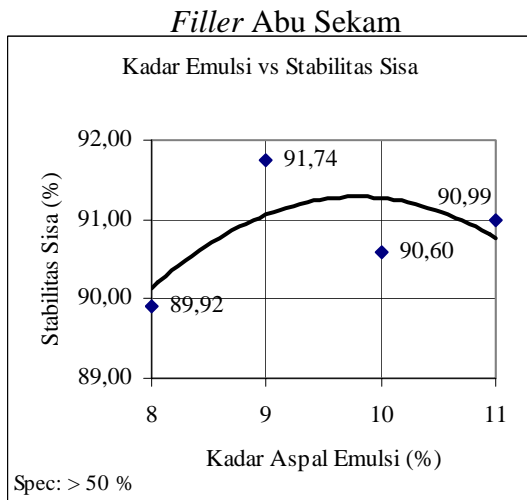
Kadar Emulsi vs Stabilitas Rendaman



Kadar Emulsi vs Stabilitas Rendaman



Lanjutan Gambar 4.5. Grafik 11 parameter uji *Cold mix III*
 Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002



Lanjutan Gambar 4.5. Grafik 11 parameter uji *Cold mix III*
 Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

Dari hasil Pengujian *cold mix III*, didapat 11 (sebelas) parameter pengujian yang terdiri dari 4 (empat) parameter persyaratan pengujian dari Spesifikasi Khusus Bina Marga 1991, yaitu VMA, Stabilitas rendaman, Stabilitas sisa dan Penyerapan air dan 7 (tujuh) parameter diluar persyaratan, yaitu Kadar air,

Densitas basah, Densitas kering, Total Rongga, Rongga udara, Stabilitas kering dan Flow.

Kadar aspal dianggap optimum jika hasil uji keempat parameter (VMA, Stabilitas rendaman, Stabilitas sisa dan Penyerapan air) memenuhi persyaratan Tabel 3.21 dan nilainya paling minimum untuk VMA dan penyerapan air, dan paling maksimum untuk stabilitas rendaman dan stabilitas sisa. Dari hasil pengamatan pengujian parameter seperti dalam Tabel 4.10 tampak bahwa nilai optimum untuk ke-4 parameter persyaratan uji untuk filler abu sekam terjadi pada saat kadar aspal emulsi mencapai sebesar 9 %.

4.1.5. Hasil Uji Cold mix IV

Uji cold mix IV dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar filler optimum pada saat berat jenis kering benda uji mencapai maksimum. Hasil uji cold mix IV selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil uji cold mix IV untuk filler abu sekam (Kadar Aspal 9%)

No.	Sifat CEBR	Kadar Filler Abu Sekam (%)		
		I	II	III
		4,5	5	5,5
1.	Kadar Air (%)	2,81	3,12	3,16
2.	Berat jenis basah (gr/cc)	2,13	2,00	2,08
3.	Berat jenis kering (gr/cc)	2,07	1,93	2,01
4.	VMA (%)	9,52	14,52	11,50
5.	Rongga (%)	8,19	12,28	8,96
6.	Total Rongga (%)	11,41	15,63	12,54
7.	Penyerapan air (%)	2,12	3,17	2,52
8.	Stabilitas Kering (kg)	894,3	843,4	814,4
9.	Stabilitas Basah (kg)	814,4	763,5	734,4
10.	Stabilitas Sisa (%)	91,06	90,52	90,18
11.	Kelelahan (Flow) (mm)	3,92	3,92	4,01

Sumber: Hasil penelitian, 2006

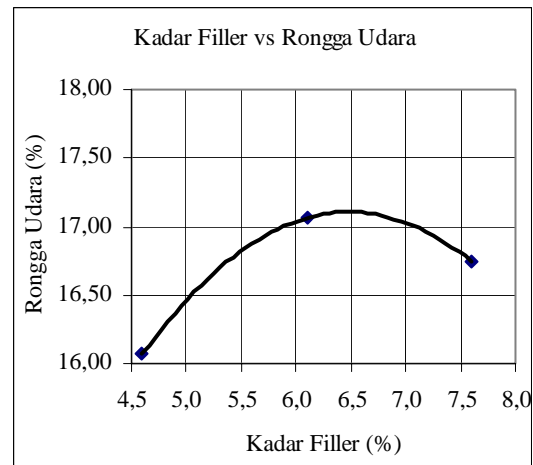
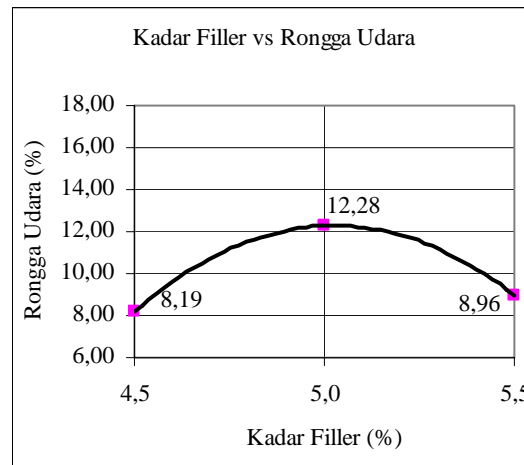
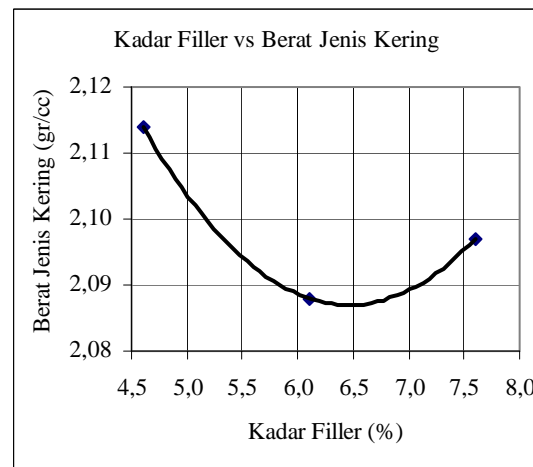
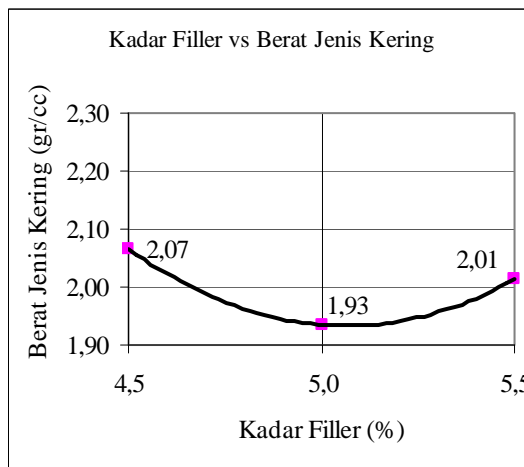
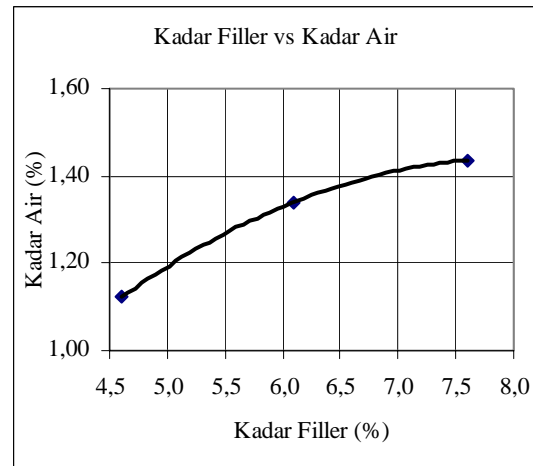
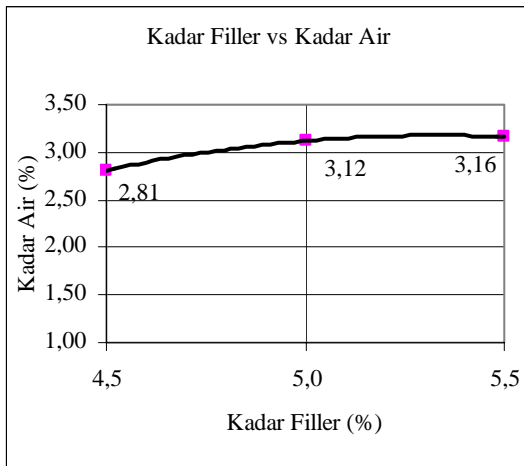
Tabel 4.12. Hasil uji *cold mix* IV untuk *filler* abu terbang (Kadar Aspal 9%)

No.	Sifat CEBR	Kadar <i>Filler</i> Abu Terbang (%)		
		I	II	III
		4,6	6,1	7,6
1.	Kadar Air (%)	1,12	1,34	1,44
2.	Berat jenis basah (gr/cc)	2,14	2,12	2,13
3.	Berat jenis kering (gr/cc)	2,11	2,09	2,10
4.	VMA (%)	21,58	22,56	22,22
5.	Rongga (%)	16,07	17,06	16,75
6.	Total Rongga (%)	13,77	14,31	13,82
7.	Penyerapan air (%)	1,05	0,99	0,64
8.	Stabilitas Kering (kg)	972,4	836,8	772,2
9.	Stabilitas Basah (kg)	950,9	757,1	726,9
10.	Stabilitas Sisa (%)	97,54	89,17	94,13
11.	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	3,60	3,68	3,70

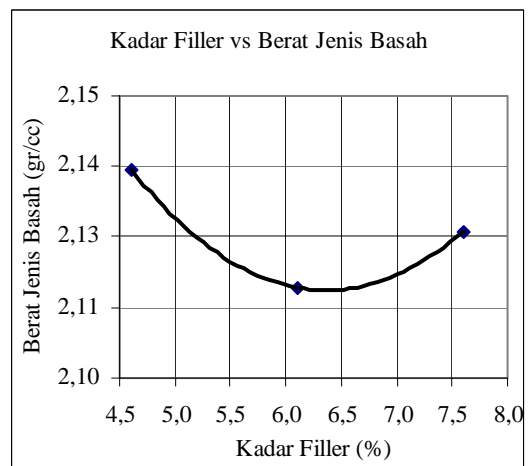
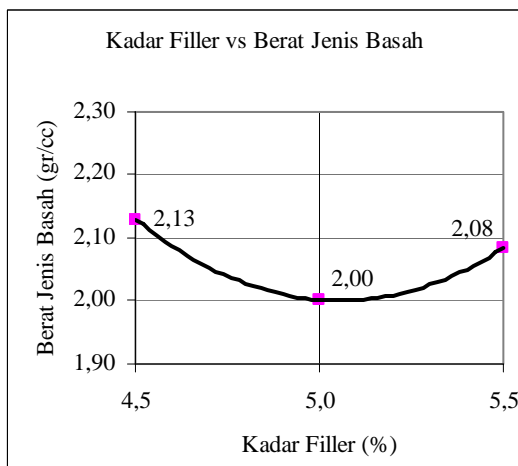
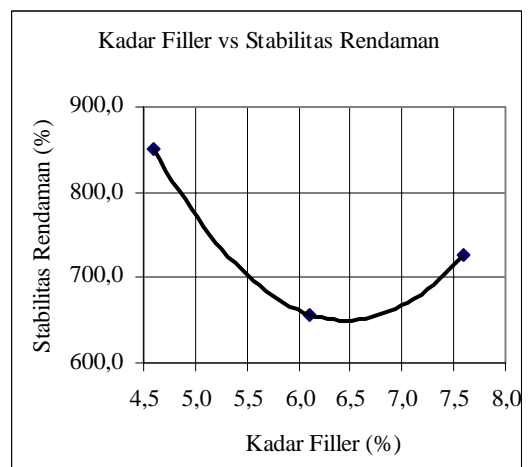
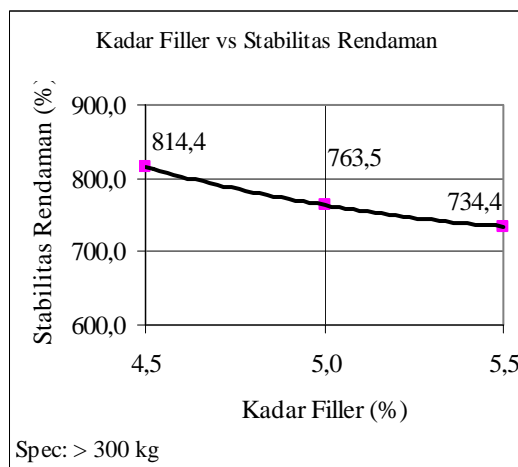
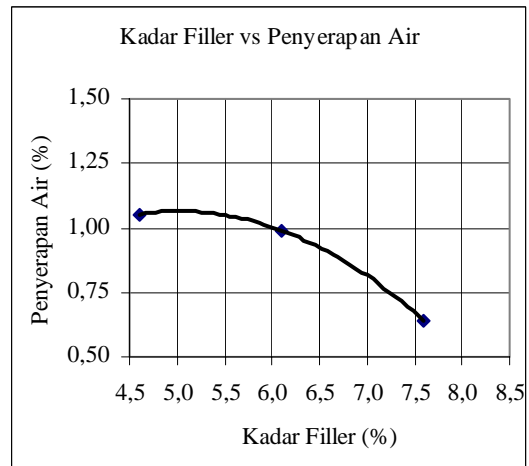
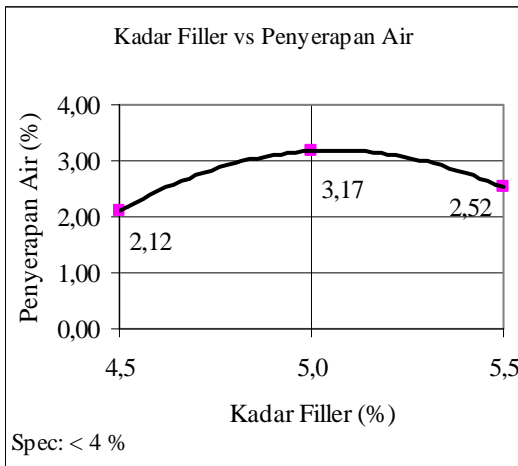
Sumber: Mutohar, Y., 2002

Filler Abu Sekam

Filler Abu terbang



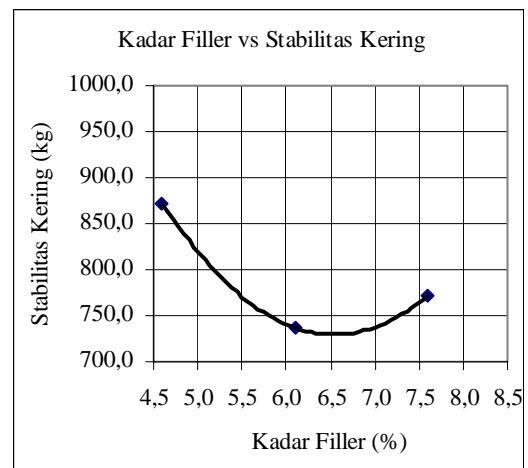
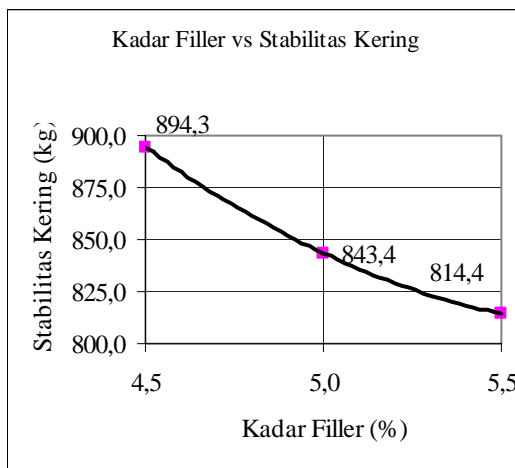
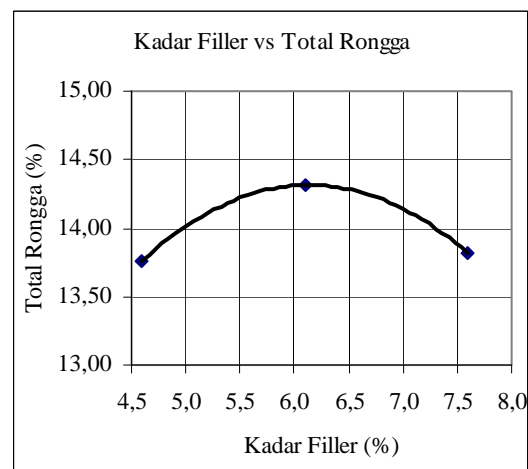
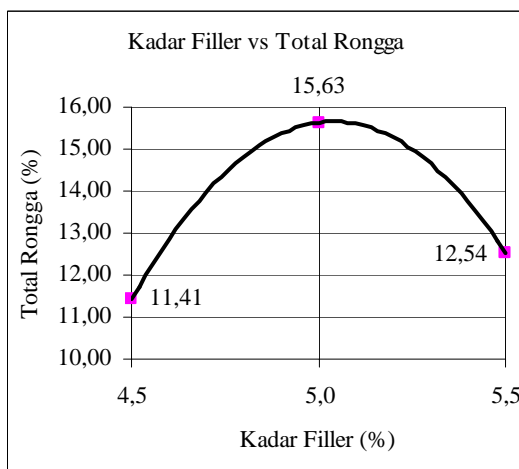
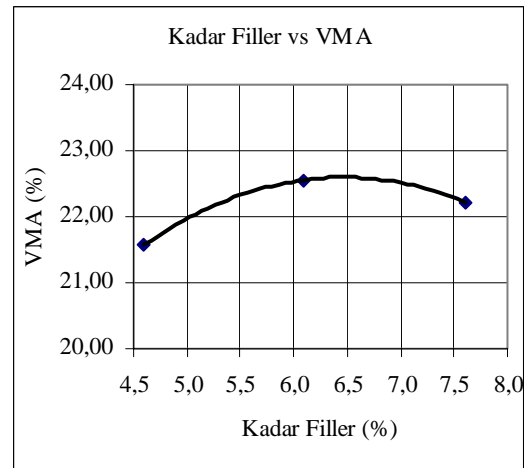
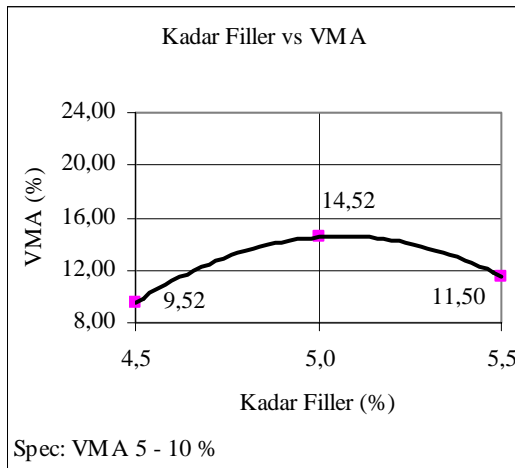
Gambar 4.6. Grafik 11 parameter uji *Cold mix IV* (kadar aspal 9 %) Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002



Lanjutan Gambar 4.6. Grafik 11 parameter uji *Cold mix IV* (kadar aspal 9 %) Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

Filler Abu Sekam

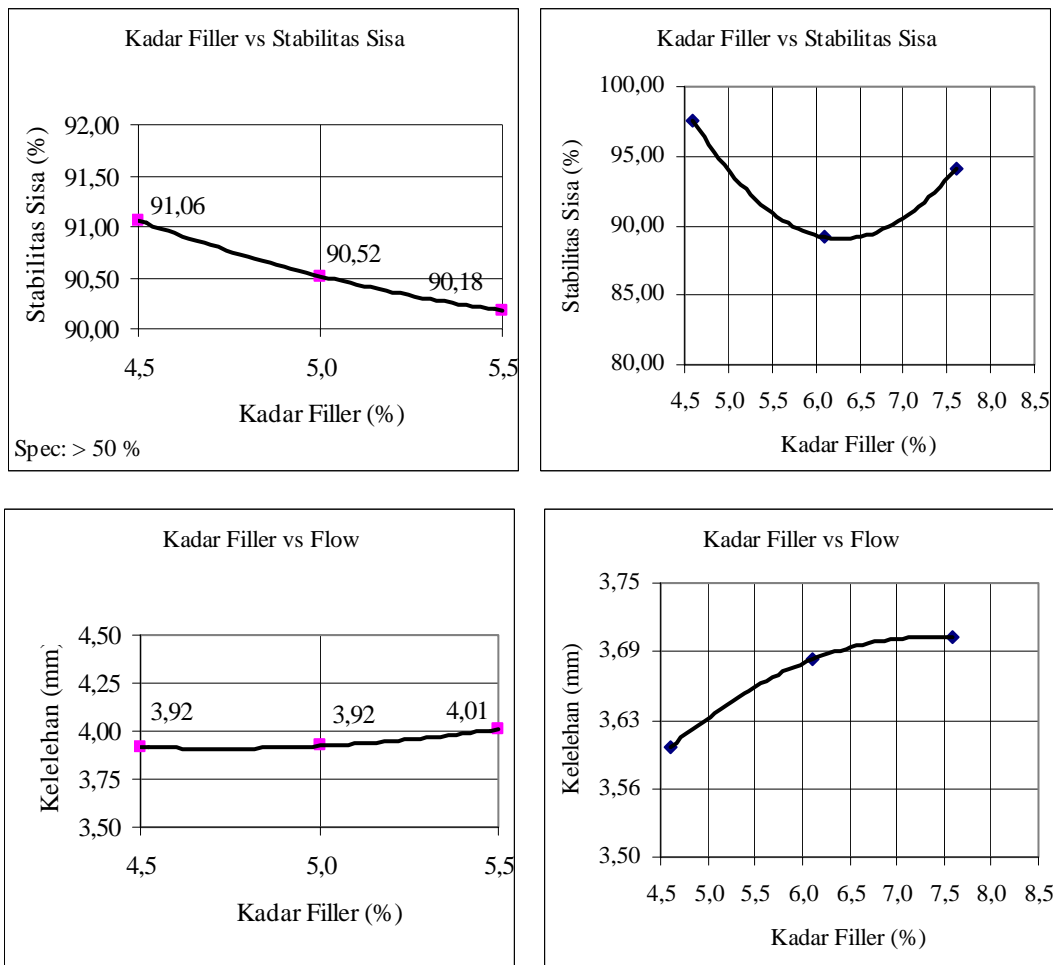
Filler Abu terbang



Lanjutan Gambar 4.6. Grafik 11 parameter uji *Cold mix* IV (kadar aspal 9 %) Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

Filler Abu Sekam

Filler Abu terbang



Lanjutan Gambar 4.6. Grafik 11 parameter uji *Cold mix IV* (kadar aspal 9 %) Sumber: Hasil penelitian, 2006 dan Mutohar, Y., 2002

Dari hasil Pengujian *cold mix IV*, didapat 11 (sebelas) parameter pengujian yang terdiri dari 4 (empat) parameter persyaratan pengujian dari Spesifikasi Khusus Bina Marga 1991, yaitu VMA, Stabilitas rendaman, Stabilitas sisa dan Penyerapan air dan 7 (tujuh) parameter diluar persyaratan, yaitu Kadar air, Densitas basah, Densitas kering, Total Rongga, Rongga udara, Stabilitas kering dan *Flow*.

Kadar filler dianggap optimum jika hasil uji keempat parameter (VMA, Stabilitas rendaman, Stabilitas sisa dan Penyerapan air) memenuhi persyaratan Tabel 3.21 dan nilainya paling minimum untuk VMA dan penyerapan air, dan paling maksimum untuk stabilitas rendaman dan Stabilitas sisa. Dari hasil pengamatan pengujian parameter seperti dalam Tabel 4.11 tampak bahwa nilai optimum untuk keempat parameter persyaratan uji untuk *filler* abu sekam terjadi pada saat kadar *filler* mencapai sebesar 4,5 %.

Sebagai perbandingan, nilai optimum untuk keempat parameter persyaratan uji untuk filler abu terbang terjadi pada saat kadar *filler* mencapai sebesar 5 % (Mutohar, Y., 2002).

4.2. Pembahasan Hasil

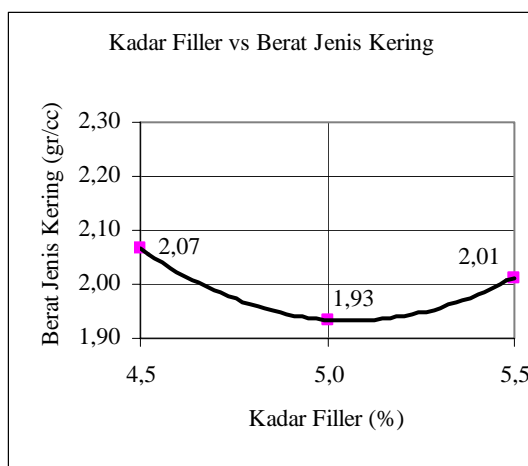
4.2.1. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap Kepadatan (*Density*)

Kepadatan atau densitas merupakan indikator paling baik yang dapat menunjukkan kekuatan suatu bahan atau campuran. Semakin padat suatu benda atau campuran, makin semakin baik atau tinggi kekuatan benda atau campuran tersebut. Sebaliknya semakin tidak padat suatu benda atau campuran, maka semakin lemah kekuatan benda atau campuran tersebut.

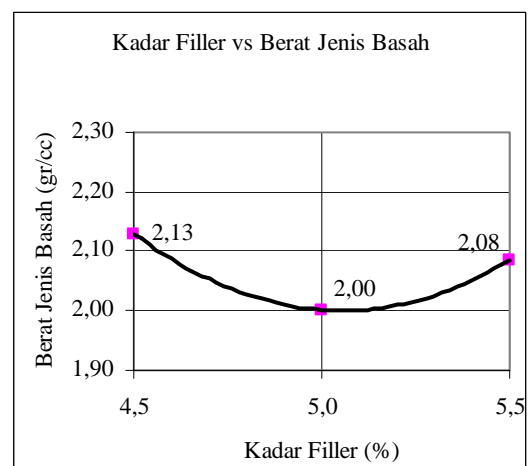
Dalam penelitian ini dikenal istilah kepadatan kering (*dry bulk density*) dan kepadatan basah atau rendaman (*soaked bulk density*). Kepadatan kering dipahami sebagai nilai kepadatan benda pada kondisi kering udara dimana air atau uap air dianggap telah meninggalkan pori-pori benda. Sementara kepadatan basah dipahami sebagai nilai kepadatan benda pada kondisi dimana pori-pori benda terisi penuh oleh air.

Suatu campuran seperti campuran lapis perkerasan jalan utamanya terdiri dari batu pecah, pasir dan aspal. Karena masing-masing unsur tersebut memiliki ukuran yang heterogen, maka hubungan antar unsur tersebut tidak terjalin dengan sempurna dan meninggalkan begitu banyak rongga. Rongga ini akan diisi oleh udara jika dalam kondisi kering dan diisi oleh air dalam kondisi basah. Karena memiliki sifat alkalis, maka udara dan air cenderung merusak bagi ikatan antar campuran. Akibatnya campuran cenderung mengalami penurunan kekuatan dari waktu ke waktu.

Filler atau bahan pengisi seperti abu sekam bekerja sebagai unsur yang menyusup ke dalam pori-pori atau rongga campuran dan membentuk ikatan yang unik dengan unsur lainnya seperti batu pecah, aspal dan pasir. Karena rongga diisi oleh bahan pengisi, maka ruang sisa bagi udara dan air akan semakin sedikit, sehingga campuran semakin padat.



Gambar 4.7. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan berat jenis kering (gr/cc) pada kadar air optimum 9%
Sumber: Hasil penelitian, 2006



Gambar 4.8. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan berat jenis basah (gr/cc) pada kadar air optimum 9%
Sumber: Hasil penelitian, 2006

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada kandungan *filler* 4,5 %, kondisi kepadatan kering dan basah mengalami peningkatan sampai mencapai kondisi maksimum. Namun setelah kandungan *filler* ditingkatkan menjadi 5,0 dan 5,5 %, nilai kepadatan campuran menjadi cenderung menurun.

Salah satu alasan yang dapat dikemukakan berkaitan dengan sifat seperti diatas adalah bahwa jumlah *filler* yang melebihi prosentase tertentu menyebabkan tertariknya

terlalu banyak aspal residu dalam penyelimutan partikel bahan pengisi atau *filler*. Akibatnya jumlah aspal residu bebas yang mengisi rongga menjadi berkurang.

Alasan lain yang dapat dikemukakan adalah bahwa kandungan silika yang tinggi pada abu sekam cepat menyerap partikel aspal emulsi, mengakibatkan berkurangnya pelekatan aspal terhadap agregat. Banyaknya aspal emulsi yang melekat pada bahan pengisi secara berlebihan memacu terjadinya pecahnya lapisan aspal, dan ini dapat memperlemah daya ikat aspal dalam campuran.

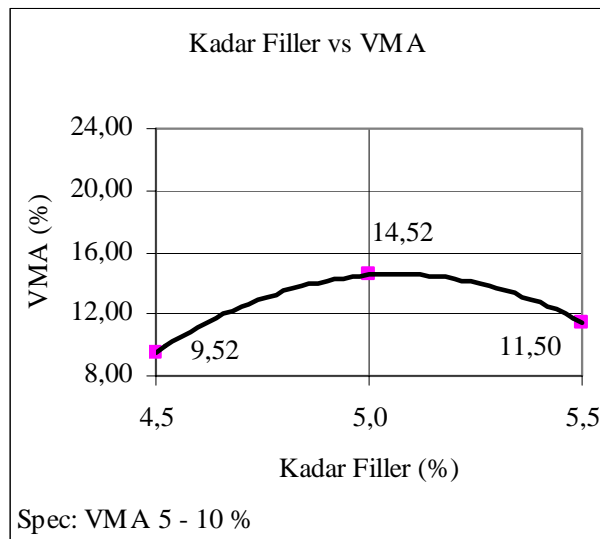
Nilai tertinggi untuk kepadatan kering sebesar 2,07 gr/cc dan kepadatan basah atau rendaman sebesar 2,13 gr/cc. Keduanya terjadi pada kadar *filler* 4,5 % dan kadar emulsi 9 %. Sebagai perbandingan, nilai kepadatan kering maksimum untuk bahan pengisi abu terbang (*dust ash*) mencapai 2,14 gr/cc terjadi pada kadar *filler* 4,6 % dan kadar aspal emulsi 9 % (Mutohar, Y.; 2002).

4.2.2. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap VMA

Rongga dalam campuran terjadi akibat adanya ruang sisa antar butiran penyusun campuran. Rongga ini dalam kondisi kering akan diisi oleh udara dan dalam kondisi basah akan diisi oleh air. Karena bersifat alkalis, udara dan air akan mempercepat oksidasi dan pelarutan aspal residu dalam campuran. Akibatnya dalam jangka panjang, campuran akan mengalami defisit kandungan aspal residu.

Kadar VMA dalam campuran harus memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan oleh Bina Marga yaitu tidak boleh lebih dari 10 % dan tidak boleh kurang dari 5 %. Kadar total rongga yang lebih dari 10% akan menyebabkan campuran menjadi keropos, sementara kadar rongga kurang dari 5,0 % akan menyebabkan aspal dalam campuran mudah mengalami proses *bleeding* yaitu proses dimana aspal mengalir keluar campuran akibat tidak ada tempat lagi dalam campuran.

Hasil penelitian laboratorium terhadap campuran CEBR dengan *filler* abu sekam menunjukkan bahwa total rongga mencapai minimum sebesar 8,59 % pada saat kadar *filler* abu sekam dalam campuran mencapai 4,5 %. Ini berarti juga bahwa kadar VMA akan minimum jika kepadatan campuran mencapai nilai maksimum (terjadi pada kadar *filler* 4,5 %). Di luar itu, nilai VMA cenderung lebih rendah.



Gambar 4.9. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan VMA (%)
 Sumber: Hasil penelitian, 2006

Nilai kadar rongga campuran dengan bahan *filler* abu sekam ini berbeda dengan nilai kadar VMA pada campuran dengan bahan *filler* lainnya. Sebagai perbandingan, nilai kadar VMA pada campuran dengan bahan *filler* berupa abu terbang, kadar VMA minimum sebesar 21,58 % terjadi pada kadar *filler* 4,6 % kadar aspal emulsi 9 % (Mutohar, Y.; 2002).

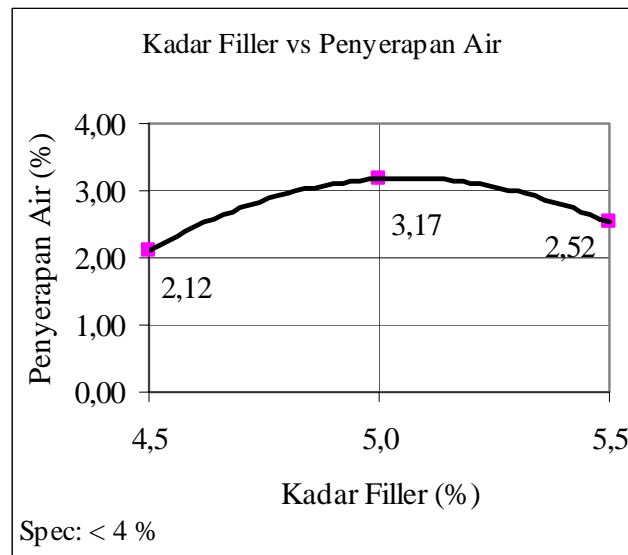
4.2.3. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap Penyerapan Air (*Absorption*)

Penyerapan air dalam campuran terjadi akibat adanya rongga dalam campuran khususnya rongga udara. Apabila air masuk ke dalam campuran, maka partikel air akan mengisi rongga-rongga dalam campuran dan menekan udara ke luar dari campuran. Akibatnya campuran dalam kondisi jenuh atau basah. Dalam kondisi seperti ini benda dikatakan tidak kedap air (*porous*).

Kondisi tidak kedap air dalam batas tertentu dapat merusak kelekatan antar unsur pembentuk campuran khususnya antara agregat dengan aspal akibat kondisi agregat dalam campuran menjadi terlalu jenuh sehingga menghambat daya ikat permukaan agregat terhadap aspal. Agar kondisi campuran tidak terlalu rembes, maka rongga tempat masuknya air perlu diisi dengan partikel yang padat seperti *filler*.

Peranan *filler* terhadap upaya mengurangi rembes dalam campuran dapat dibuktikan dengan melihat hasil uji sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.10.

Penambahan *filler* telah mengurangi jumlah penyerapan air dalam campuran dan mencapai titik optimum pada saat kadar *filler* dalam campuran mencapai 4,5 %. Pada saat ini kadar penyerapan air dapat ditekan hingga mencapai 2,12 %. Setelah itu, penambahan *filler* tidak efektif lagi, karena kadar penyerapan cenderung naik kembali.



Gambar 4.10. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan penyerapan air (%)
Sumber: Hasil penelitian, 2006

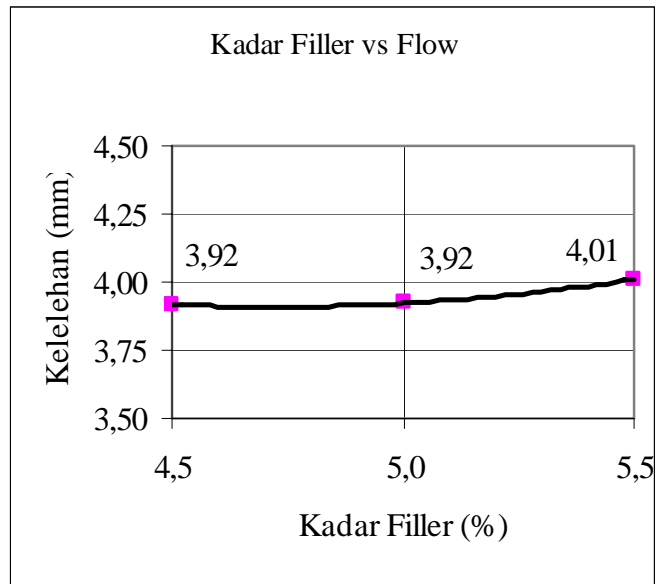
Nilai kadar penyerapan air pada campuran dengan bahan *filler* abu sekam agak berbeda dengan nilai kadar penyerapan air pada campuran dengan bahan *filler* lainnya. Sebagai perbandingan, nilai kadar penyerapan air minimum pada campuran dengan bahan *filler* abu terbang mencapai 0,552 % terjadi pada saat kadar *filler* 7,6 % dan kadar aspal emulsi mencapai 9 % (Mutohar, Y.; 2002).

4.2.4. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap Kelelahan Plastis (*Flow*)

Kelelahan plastis merupakan ukuran yang menunjukkan fleksibilitas campuran terhadap beban yang bekerja di atasnya. Jika campuran mudah mengalami deformasi atau lendutan saat beban bekerja di atasnya, maka campuran tersebut dikatakan memiliki kelelahan plastis yang tinggi atau lentur. Sementara jika campuran sulit mengalami deformasi saat dikenakan beban di atasnya, maka campuran tersebut dikatakan memiliki kelelahan plastis yang rendah.

Tingkat kelelahan plastis dari suatu campuran sangat dipengaruhi oleh kandungan aspal residu dan kepadatannya. Peranan bahan *filler* dalam campuran terutama berfungsi

meningkatkan kepadatan pada campuran, sehingga dapat mengurangi tingkat kelelehan plastis. Namun bahan *filler* yang berlebih juga menyebabkan campuran terlalu kaku (tidak plastis) sehingga mudah retak.



Gambar 4.11. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan nilai kelelehan (mm)
Sumber: Hasil penelitian, 2006

Hasil uji terhadap campuran dengan *filler* abu sekam menunjukkan bahwa penambahan kadar *filler* abu sekam dapat mengurangi kelelehan plastis hingga mencapai 3,92 mm pada saat kadar *filler* abu sekam mencapai 4,5 % dan kadar emulsi mencapai 9 %.

Sebagai perbandingan, nilai kelelehan plastis minimum untuk campuran dengan bahan *filler* abu terbang, nilai kelelehan minimum mencapai 3,3 mm saat kadar *filler* mencapai 4,6 % dan kadar aspal emulsi mencapai 9 % (Mutohar, Y.;2004).

4.2.5. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap Stabilitas (*Stability*)

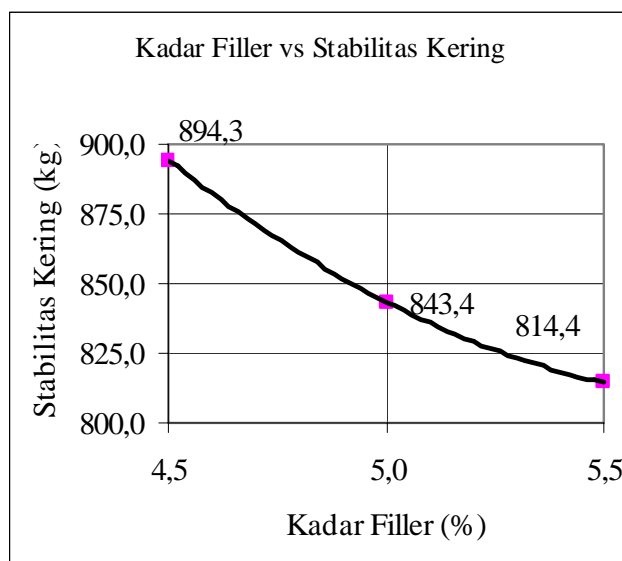
Stabilitas merupakan ukuran bagi suatu campuran untuk menahan beban yang bekerja di atasnya tanpa mengalami kerusakan. Suatu campuran dikatakan memiliki stabilitas yang tinggi apabila campuran tersebut mampu menahan beban dengan kapasitas tertentu tanpa mengalami kerusakan apapun. Sebaliknya, suatu campuran

dikatakan memiliki stabilitas rendah apabila campuran tersebut telah rusak selama beban masih bekerja di atasnya.

Stabilitas merupakan ukuran nyata bagi suatu campuran dalam menahan beban yang bekerja secara berulang (*repetitive load*). Untuk dapat dikatakan sebagai campuran yang baik, nilai stabilitas campuran tersebut minimal di atas 300 kg (Bina Marga, 1991). Campuran dengan nilai stabilitas kurang dari itu dianggap campuran yang buruk.

Hal-hal yang mempengaruhi stabilitas campuran diantaranya adalah kualitas agregat, kandungan aspal, dan gradasi campuran. Bahan *filler* memiliki peranan dalam hal memperbaiki gradasi campuran hingga ukuran yang sangat kecil yang dibutuhkan untuk membus rongga antar agregat kasar. Karenanya penambahan bahan *filler* diyakini dapat meningkatkan stabilitas campuran menjadi lebih baik.

Hal lain yang mempengaruhi stabilitas suatu campuran adalah kadar penyerapan air dalam campuran. Kadar penyerapan air yang tinggi meningkatkan resiko terlepasnya ikatan antara agregat dengan aspal yang menyelimutinya. Stabilitas campuran dengan kondisi air jenuh tidak boleh kurang dari 50 % dari stabilitas dalam kondisi kering.



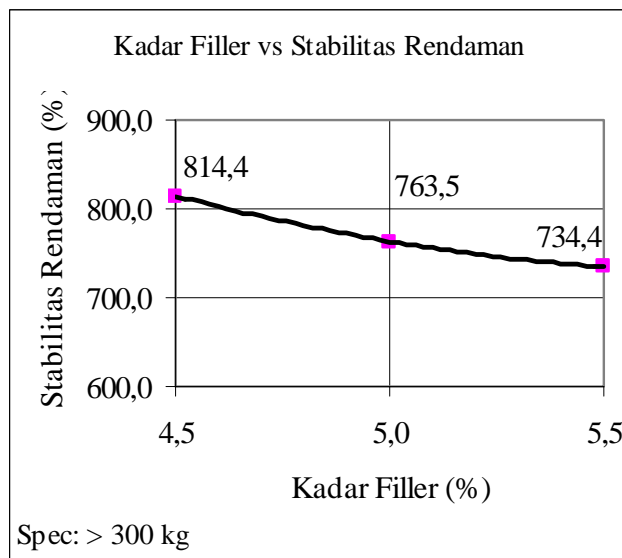
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan stabilitas kering (kg)
Sumber: Hasil penelitian, 2006

Hasil uji stabilitas terhadap campuran dengan bahan *filler* abu sekam diwakili oleh Gambar 4.12. Nilai stabilitas kering maksimum mencapai 894,3 kg pada saat kadar

filler mencapai 4,5 % dan kadar emulsi mencapai 9 %. Sementara diluar itu, nilai stabilitas cenderung menurun.

Sementara dalam kondisi jenuh, nilai stabilitas campuran maksimum mencapai 814,4 kg terjadi pada saat kadar *filler* abu sekam mencapai 4,5 % dan kadar emulsi mencapai 9 %. Diluar itu, nilai stabilitasnya cenderung menurun.

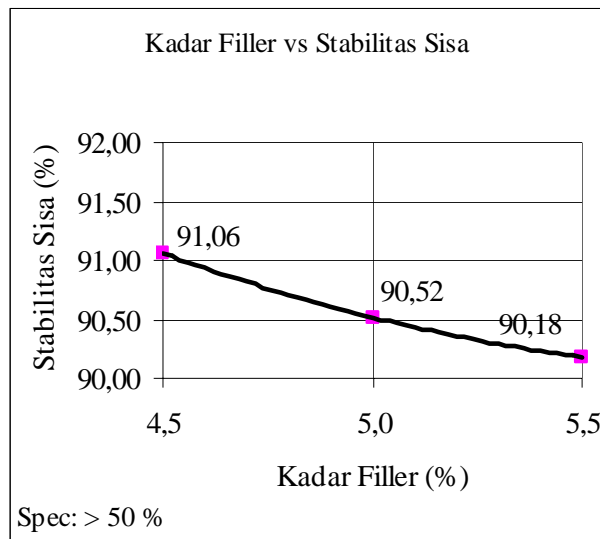
Perbandingan antara nilai stabilitas basah terhadap stabilitas kering disebut sebagai stabilitas sisa (*remain stability*). Stabilitas sisa minimum mencapai 91,06 %, dan ini jauh lebih tinggi dari nilai minimum yang dipersyaratkan oleh Bina Marga sebesar 50 %.



Gambar 4.13. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan nilai stabilitas basah (kg)
Sumber: Hasil penelitian, 2006

Sebagai perbandingan, nilai stabilitas kering campuran dengan bahan *filler* abu terbang, nilai stabilitas kering maksimum mencapai 972,4 kg, stabilitas basah maksimum mencapai 950,9 kg, dan stabilitas sisa minimum mencapai 89,17 % (Mutohar, Y.; 2002).

Dari angka-angka perbandingan tersebut tampak bahwa rata-rata nilai stabilitas maksimum untuk campuran dengan bahan abu sekam lebih rendah dibanding bahan lainnya.



Gambar 4.14. Grafik hubungan antara kadar *filler* dengan nilai stabilitas sisa (%)
 Sumber: Hasil penelitian, 2006

Tabel 4.13 merangkum perbandingan nilai-nilai parameter uji *Cold mix* pada CEBR dengan bahan *filler* abu sekam, gypsum sintetis, portland cement, abu terbang dan abu terbang.

Tabel 4.13. Perbandingan kinerja beberapa bahan *filler* terhadap CEBR

No.	Parameter	Bahan <i>Filler</i>	
		Abu Sekam *	Abu terbang ***
1.	Kadar aspal emulsi (%)	9	9
2.	Kadar <i>filler</i> optimum (%)	4,5	4,6
3.	Berat jenis basah (gr/cc)	2,13	2,14
4.	Berat jenis kering (gr/cc)	2,07	2,11
5.	VMA (%)	8,59	12,58
6.	Penyerapan air (%)	2,12	1,05
7.	Stabilitas Kering (kg)	945,2	972,4
8.	Stabilitas Basah (kg)	821,6	950,9
9.	Stabilitas Sisa (%)	86,92	97,54
10.	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	3,66	3,30

Sumber: * : Hasil penelitian, 2006
 *** : Mutohar, Y.; 2002

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan hasil penelitian dalam bagian sebelumnya dapat ditarik beberapa butir kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa dalam campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR) type III dengan menggunakan abu sekam sebagai bahan *filler* akan dicapai kondisi optimum pada saat kandungan *fillernya* mencapai 4,5 % dan kandungan aspal emulsi sebesar 9 % . Dari kondisi optimum tersebut, didapat nilai-nilai sebagai berikut:
 - a. Nilai densitas kering maksimum sebesar 2,07 gr/cc dan nilai kerapatan basah mencapai 2,13 gr/cc
 - b. Nilai VMA minimum sebesar 8,59 %
 - c. Tingkat penyerapan air oleh campuran minimum sebesar 2,12 %
 - d. Tingkat kelelehan plastis minimum mencapai 3,92 mm
 - e. Nilai stabilitas kering maksimum sebesar 894,3 kg, Stabilitas basah maksimum sebesar 814,4 kg dan stabilitas sisa minimumnya sebesar 91,06 %.
2. Dilihat dari hasil yang didapat dari uji CEBR type III dengan bahan *filler* abu sekam diketahui bahwa secara umum kinerja abu sekam dalam CEBR cukup baik karena nilai-nilai parameter kerjanya memenuhi persyaratan Bina Marga (VMA 5 % – 10 %, Penyerapan air < 4 %, Stabilitas rendaman > 300 kg, dan Stabilitas sisa > 50 %).

5.2. Saran

1. Penggunaan abu sekam sebagai bahan *filler* dalam CEBR type III di lapangan perlu dilakukan uji coba yang lebih mendalam disebabkan oleh kinerjanya yang kurang memuaskan dibanding dengan bahan *filler* lainnya. Uji coba ini terutama diperlukan manakala abu sekam akan diaplikasikan dalam konstruksi jalan dengan beban rencana yang besar.
2. Untuk meningkatkan kinerja abu sekam dalam CEBR ada baiknya jika diuji coba penggunaan abu sekam sebagai bahan *filler* disandingkan dengan bahan

lain seperti gypsum sintetis, *portland cement*, abu terbang atau abu batu, misalnya. Penggunaan *filler* campuran diharapkan dapat memperbaiki kelemahan masing-masing bahan *filler* terhadap campuran emulsi bergradasi rapat.

3. Dalam penetapan kadar air optimum seharusnya didasarkan pada range kadar aspal yang memenuhi spesifikasi setiap parameter yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO (1998). *Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Washington, D.C.
- Asphalt_Files.com (2004). _____
- Atkins, H. N., PE (1997). *Highway Materials, Soils, and Concretes*. Prentice Hall, New Jersey.
- Cabrera, J.G. and Zoorob, SE (1991). Performance and Durability of Bituminous Materials and Hydraulic Stabilised Composites, *Proceeding of the Third European Symposium*, Leeds, UK.
- Ceramic-Materials.com (2004), *Rice Husk Chemistry*, _____.
- Departemen Pekerjaan Umum (1991), *Spesifikasi Khusus (Suplemen Buku 3), untuk Campuran Aspal Emulsi*, Ditjend Bina Marga Jakarta.
- Dukatz E.L, Anderson D.A (1978), *The Effect of Various Filler on The Mechanical Behavior of Asphalt and Asphaltic Concrete*, Proseeding AAPT, volume 40.
- Ertech.com (2000). _____
- Herina, F, S, (2000), *Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Fondasi Ekspansif Untuk Bangunan Sederhana*, BPP DPU, Jakarta.
- Hossain, ASMM (1991), Stabilization Of Alluvial Soils With Cement And Cement-Rice Husk Ash Blend For Low-Volume Road Construction In Bangladesh, *Transportation Research Board*, Washington DC, USA.
- Iriansyah A.S dan Hermadi M (1996), *Penelitian Karakteristik dan Kinerja Campuran Aspal Emulsi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan Bandung.
- Kerb, D.R dan Walker, D.R (19710, *Highway Material*, MC. Graw-Hill Book Company, Virginia Polytechnic Institute, USA.
- Martens E.W dan Borgfeldt M.J (1985), *Cationic Asphalt Emulsion*, California Research Corporation, California.
- Muntohar, A. S. dan B. Hantoro (2001). Penggunaan abu sekam sebagai campuran kapur untuk stabilisasi tanah. *Tesis Magister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Mutohar, Y (2002). Evaluasi Pengaruh Bahan Filler Fly Ash Terhadap Karakteristik Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR). *Tesis Magister*, Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.

- Priyatno, B (2000). *Pengaruh Gypsum Sintetis dan Portland Cement Sebagai Bahan Filler Terhadap Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (DGEM)*. Tesis Magister, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- The Asphalt Institute (1979), *A Basic Asphalt Emulsion Manual*, Manual Series (MS) No.19, Second Edition, Maryland, USA.
- The Asphalt Institute (1991), *Asphalt Cold Mix Manual*, Manual Series (MS) No.14, Third Edition, Maryland, USA.
- Wanadri, A. (1999), *Penerapan Spouted-Bed Dalam Pembuatan Natrium Silikat Dari Abu Sekam Padi: Hidrodinamika, Perpindahan Massa, dan Perolehan Silikat*, *Tesis Magister*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.