

SKRIPSI

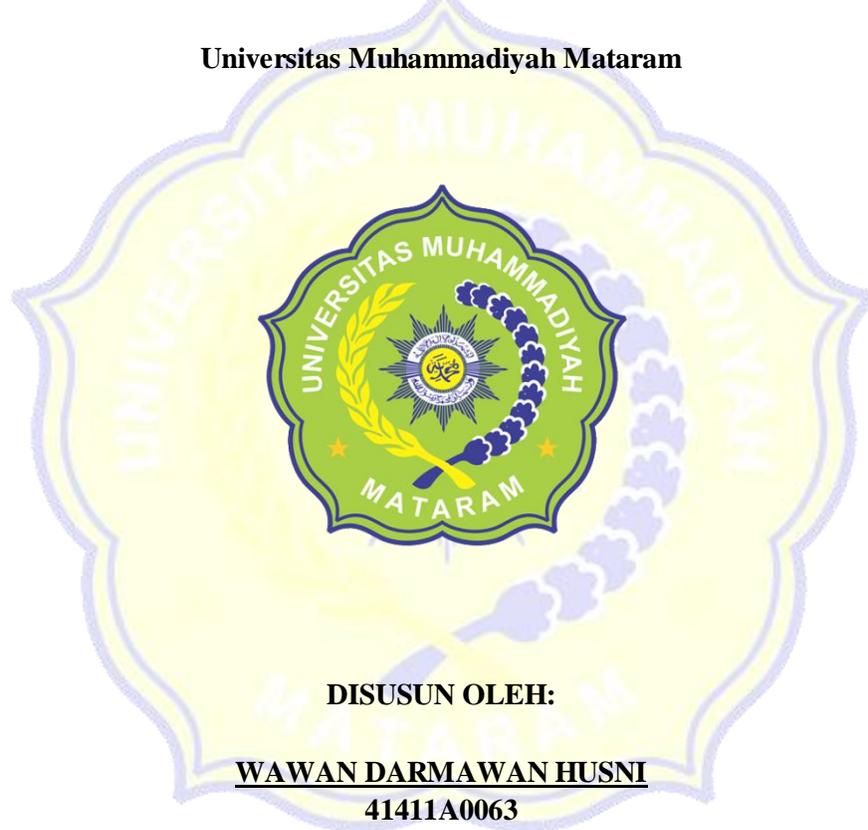
**PENGARUH KADAR FILLER ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC**

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi

Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH:

WAWAN DARMAWAN HUSNI

41411A0063

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2020

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

**PENGARUH KADAR FILLER ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC**

Disusun Oleh:

WAWAN DARMAWAN HUSNI

41411A0063

Mataram, 11 Agustus 2020

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Isfanati, ST., MT
NIDN. 0830086701

Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)
NIDN. 0027107301

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
SKRIPSI**

**PENGARUH KADAR FILLER ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

NAMA : WAWAN DARMAWAN HUSNI

NIM : 41411A0063

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji

Pada hari : Kamis, 13 Agustus 2020

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Ir. Isfanari, ST., MT
2. Penguji II : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)
3. Penguji III : Maya Saridewi P, ST., MT

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wawan Darmawan Husni

Nim : 41411A0063

Program Studi : Rekayasa Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya ini yang berjudul: **“Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton AC-BC”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Mataram, 13 Agustus 2020

Pembuat Pernyataan,



Wawan Darmawan Husni
NIM. 41411A0063



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

UPT. PERPUSTAKAAN

Jl. K.H.A. Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat

Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906

Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : upt.perpusummat@gmail.com

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : WAWAN DARMAWAN HUSNI
NIM : 41411A0063
Tempat/Tgl Lahir : KEDIRI 20-07-1996
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK
No. Hp/Email : 081298988985
Jenis Penelitian : Skripsi KTI

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

PENGARUH KADAR FLUKS ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC

Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Dibuat di : Mataram

Pada tanggal : 26 Agustus 2020

Penulis



WAWAN OR
NIM 41411A0063

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos, M.A.
NIDN. 0802048904

PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai syarat kelulusan.

Laporan proyek akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT. Yang telah memberikan Rahmat Serta Hidayah-nya.
2. Ibu dan Bapak serta kakak yang sangat kuhormati, kucintai dan kubanggakan, terimakasih atas semua dukungan, doa dan harapan baik materi maupun rohani, dan terimakasih telah membiayai segala kebutuhan-ku mulai dari awal hingga menyelesaikan kulyah ini dengan baik.
3. **Ibu dan Bapak Dosen** yang telah membimbing & mendidik saya dari awal perkuliahan sampai akhir perkuliahan.
4. **Teman-teman Teknik Sipil angkatan tahun 2014 (Sipil B)**, yang telah setia memotivasi dan selalu memberikan semangat.
5. **Kepada semua**, yang selalu setia bertanya “ KAPAN WISUDA ?” terlambat lulus dan tidak tepat waktu bukanlah sebuah kejahatan, bukan sebuah aib. Alangkah naifnya jika kepintaran seseorang hanya diukur dari siapa yang cepat wisuda, bukankah sebaik-baik skripsi adalah skripsi yang selesai!! Baik itu tepat waktu maupun tidak tepat waktu.

MOTTO

“kunci utama dalam hidup ini adalah sabar”

“Luruskan Niatmu, Bulatkan Tekadmu, Maksimalkan Ikhtiarmu,

Kencangkan Do’amu, Singkirkan kata “Tapi”

Hasilnya Serahkan Kepada Allah”

“Hidup Itu Tidak Ada Yang Tidak Mungkin”

Talk Less Do More



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji sukur atas kehadiran ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "*(Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc)*".

Dalam rangka memenuhi persyaratan program studi Sarjana satu (S1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram, maka setiap mahasiswa Sarjana satu (S1) yang akan menyelesaikan perkuliahan diwajibkan menyusun Tugas Akhir (Skripsi).

Di dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari banyaknya kekurangan-kekurangan, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun selalu saya harapkan demi kesempurnaan tugas ini.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, terutama kepada:

1. Drs. H. Arsyad Abd. Gani, M.Pd., rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr.Eng.M. Islamy Rusyda,ST.,MT selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Titik Wahyuningsih, ST., MT., Selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Ir. Isfanari,ST.,MT Selaku Dosen Pembimbing I.
5. Dr. Eng. Hariady,ST.,M.Sc (Eng) Selaku Dosen Pembimbing II.
6. Segenap dosen dan staff pengajar program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
7. Segenap keluarga yang telah memberikan dorongan moril maupun materiel.
8. Rekan-rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu secara langsung dan tidak langsung dalam penyusunan Skripsi ini.

Semoga amal baik yang telah diberikan oleh mereka semua, tercatat sebagaimana ibadah dan dibalas oleh ALLAH SWT. Akhir penulis berharap agar Tugas Akhir ini berguna dan bermamfaat bagi siapa saja yang membutuhkan.

Mataram,13 Agustus 2020

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1 Perkerasan jalan.....	5
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Lapis aspal beton	7
2.2.2 Agregat.....	8
2.2.3 bahan pengisi (<i>filler</i>)	12

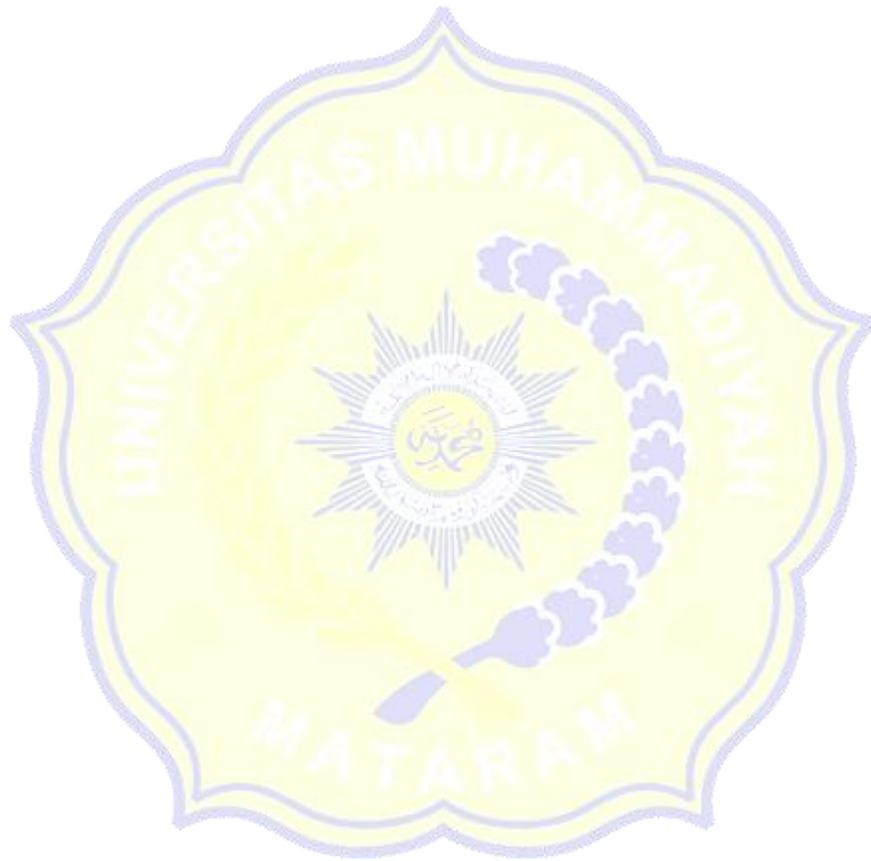
2.2.4	Aspal	13
2.2.5	Karakteristik campuran beraspal	15
2.2.6	Sifat <i>volumetric</i> campuran aspal beton	19
2.2.7	Perhitungan <i>volumetric</i> marshall	21
2.2.8	Uji marshall	23
2.2.9	Spesifikasi dan perencanaan campuran	25
2.3	Tahapan Penelitian.....	28
2.3.1	Alat	28
2.3.2	Bahan	30
2.3.3	Pengujian laboratorium.....	30
2.3.4	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar	31
2.3.5	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus	34
2.3.6	Pengujian angularitas agregat kasar dan halus	38
2.3.7	Pemeriksaan berat jenis <i>filler</i>	42
2.3.8	Pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal	43
2.3.9	Pemeriksaan keausan agregat (abrasi)	45
2.3.10	Pemeriksaan keawetan (<i>Soundness test</i>).....	48
2.3.11	Pemeriksaan kadar lumpur/ lempung	55
2.3.12	Pemeriksaan kebersihan agregat halus	59
2.3.13	Pengujian aspal.....	66
2.3.14	Pemeriksaan penetrasi aspal	66
2.3.15	Pemeriksaan daktilitas	75
2.3.16	Pemeriksaan berat jenis aspal.....	77
2.3.17	Pengujian abu batu	80
2.3.18	Pemeriksaan berat jenis abu batu	80
2.3.19	Penentuan gradasi pilihan.....	81
2.3.20	Proporsi dan kebutuhan material.....	83
2.3.21	Metode pengujian campuran aspal panas	85

BAB III METODE PENELITIAN	104
3.1 Lokasi Penelitian	104
3.2 Tahapan Penelitian	104
3.3 Bahan Penelitian	104
3.4 Peralatan Penelitian	105
3.5 Parameter Penelitian	105
3.5.1 Kadar aspal	105
3.5.2 Gradasi agregat.....	105
3.6 Metode Penelitian	105
3.6.1 Dimensi benda uji marshall (<i>mould</i>).....	106
3.6.2 Jumlah benda uji marshall yang dibuat	106
3.6.3 Jumlah tumbukan masing-masing benda uji marshall	108
3.6.4 Tata cara pembuatan benda uji marshall	108
3.6.5 Berat isi benda uji padat	109
3.6.6 Pengujian stabilitas dan kelelahan	109
3.7 Pembuatan Rancangan Campuran dengan Metode Marshall	110
3.8 Kerangka Pikir Penelitian	115
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	117
4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Material	117
4.1.1 Pemeriksaan aspal	117
4.1.2 Hasil pemeriksaan agregat.....	118
4.2 Perhitungan Kadar Aspal Campuran (Pb)	128
4.2.1 Kombinasi I	128
4.2.2 Kombinasi II	135
4.3 Hasil Perhitungan Parameter Marshall	145
4.4.1 Hasil perhitungan stabilitas, <i>flow</i> , dan marshall quitient	145
4.4.2 Hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshall	146

BAB V PENUTUP	157
5.1 Kesimpulan	157
5.2 Saran	158

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.....	6
Tabel 2.2 Ketentuan agregat kasar	9
Tabel 2.3 Ketentuan agregat halus	10
Tabel 2.4 Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal	12
Tabel 2.5 daftar gradasi dan berat benda uji	47
Tabel 2.6 Ayakan fraksi halus	49
Tabel 2.7 Ayakan fraksi kasar	49
Tabel 2.8 Susunan fraksi halus	51
Tabel 2.9 Susunan fraksi kasar	52
Tabel 2.10 Ukuran ayakan fraksi kasar	54
Tabel 2.11 Berat kering minimum benda uji	56
Tabel 2.12 Ukuran saringan untuk penyaringan basah	57
Tabel 2.13 Proporsi rencana campuran agregat AC-WC	83
Tabel 2.14 Konvensi proporsi material	84
Tabel 2.15 Kebutuhan material untuk 1,2,3 buah sampel	85
Tabel 2.16 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pepadatan	93
Tabel 3.1 Jumlah benda uji yang dibuat	107
Tabel 3.2 Jumlah tumbukan untuk masing masing benda uji	108
Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan aspal pen 60/70	118
Tabel 4.2 Hasil rekapitulasi gradasi	119
Tabel 4.3 Gradasi hasil pencampuran agregat untuk rancangan kombinasi I	120
Tabel 4.4 Gradasi hasil pencampuran agregat untuk rancangan kombinasi II.....	121
Tabel 4.5 Hasil pemeriksaan sifat fisik material pendukung kualitas campuran.	125
Tabel 4.6 hasil pemeriksaan berat jenis CA,FA,NS dan filler Abu batu	126
Tabel 4.7 Fraksi masing masing material	128

Tabel 4.8 Rancangan campuran kombinasi 1	130
Tabel 4.9 Rancangan campuran kombinasi I	131
Tabel 4.10 Rancangan campuran kombinasi I	132
Tabel 4.11 Rancangan campuran kombinasi I	133
Tabel 4.12 Rancangan campuran kombinasi I	134
Tabel 4.13 Fraksi masing masing material	135
Tabel 4.14 Rancangan campuran kombinasi II	136
Tabel 4.15 Rancangan campuran kombinasi II	137
Tabel 4.16 Rancangan campuran kombinasi II	138
Tabel 4.17 Rancangan campuran kombinasi II	139
Tabel 4.18 Rancangan campuran kombinasi II	140
Tabel 4.19 Pengujian campuran aspal panas dengan metode marshall	142
Tabel 4.20 Pengujian campuran aspal panas dengan metode marshall	143
Tabel 4.21 Hasil perhitungan <i>volumetric</i> marshall kombinasi I	144
Tabel 4.22 Hasil perhitungan <i>volumetric</i> marshall kombinasi II	145
Tabel 4.23 Hasil perhitungan stabilitas, <i>flow</i> dan marshall <i>quotient</i>	146
Tabel 4.24 Hasil perhitungan stabilitas, <i>flow</i> dan marshall <i>quotient</i>	146
Tabel 4.25 Hasil pengujian marshall untuk menentukan KAO pada benda uji ...	148
Tabel 4.26 Penentuan kadar aspal optimum campuran AC-BC kombinasi I.....	148
Tabel 4.27 Hasil pengujian marshall untuk menentukan KAO pada benda uji ...	152
Tabel 4.28 Penentuan kadar aspal optimum campuran AC-BC kombinasi II	152

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematis berbagai jenis volume campuran aspal panas.....	22
Gambar 2.2	Ilustrasi pengertian tentang vim, selimut aspal, aspal yang terobsesi	23
Gambar 2.3	Grafik gradasi pilihan rencana.....	82
Gambar 3.1	Dimensi benda uji marshall	106
Gambar 3.2	Bagan alir rancangan campuran metode marshall.....	116
Gambar 4.1	Kurva gradasi hasil pencampuran agregat untuk merancang kombinasi I	122
Gambar 4.2	Kurva gradasi hasil pencampuran agregat untuk merancang kombinasi II.....	123
Gambar 4.3	Grafik hubungan kadar aspal dengan parameter marshall kombinasi I	151
Gambar 4.6	Grafik hubungan kadar aspal dengan parameter marshall kombinasi II.....	154

DAFTAR LAMPIRAN

Pengujian Keausan (*Los Angeles Abrasion*)

Pengujian Sifat Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Na_2SO_4 atau $MgSO_4$
(*Soundness Test*)

Pengujian Prosentase Agregat Pipih

Test Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (*Stripping Test*)

Hasil Test Gradasi *Coarse Agregat* (CA)

Hasil Test Gradasi *Fine Agregate* (FA)

Hasil Test Gradasi *Natural Sand* (NS)

Pengujian Berat Jenis Untuk *Coarse Agregate* (CA)

Pengujian Berat Jenis Untuk *Fine Agregate* (FA)

Pengujian Berat Jenis Untuk *Natural Sand* (NS)

Pengujian Berat Jenis Untuk Abu Batu

Luas Permukaan Agregate (*Surface Area*) Kombinasi I dan II

Dokumentasi Penelitian

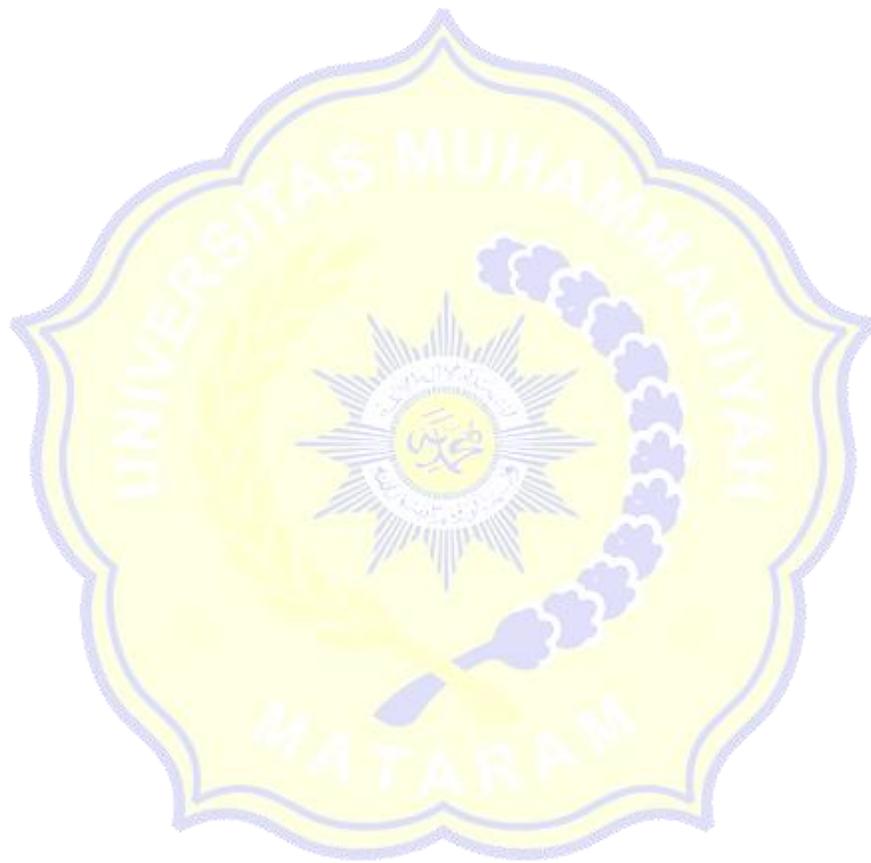
DAFTAR NOTASI



Ba	= berat campuran padat didalam air
BJ.m	= Berat jenis material yang digunakan
BJ. Bta	= Berat jenis Abu batu
BJ. Gab	= Berat jenis rasio penggabungan
Bk	= berat kering campuran padat
Bssd	= berat kering permukaan campuran yang telah dipadatkan
CA	= Agregat kasar
DMF	= Design Mix Formula
F	= prosentase lolos saringan no.200
FA	= Agregat halus
FF	= Bahan pengisi (<i>filler</i>) bila perlu
Gmb	= berat jenis bulk campuran padat
Gmm	= berat jenis maksimum dari campuran yang belum dipadatkan
Gsb	= berat jenis bulk dari agregat pembentuk campuran padat
NS	= Pasir Alami
Pb	= kadar aspal rencana awal
PRD	= % Pemadatan Mutlak
Ps	= Kadar agregat
Va	= volume aspal dalam campuran padat
Vab	= volume agregat
VFA	= volume pori dalam campuran yang terisi oleh aspal
VIM	= volume pori dalam campuran padat
VMA	= volume pori diantara butir agregat didalam campuran

Vmb = volume bulk dari campuran padat

Vse = volume efektif dari agregat



ABSTRAK

Jalan raya sebagai salah satu sarana transportasi darat, kegunaannya dirasakan semakin penting untuk menunjang peningkatan perekonomian, informasi, sosial, budaya dan ketahanan nasional. Pembangunan jalan yang dilaksanakan pada masa sekarang dihadapkan pada penyempurnaan kualitas dan penghematan biaya pembangunan. Perkembangan penelitian tentang bahan konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur (*flexible pavement*) diarahkan pada usaha pemanfaatan material setempat dan disesuaikan dengan kondisi daerah dimana konstruksi pengerasan akan dilaksanakan.

Abu batu merupakan agregat buatan. Agregat yang merupakan mineral filler/ pengisi (partikel dengan ukuran $< 0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen atau mesin pemecah batu. Material jenis ini banyak dibutuhkan untuk campuran dalam proses pengaspalan dan bisa digunakan sebagai pengganti pasir. Abu batu terdiri dari partikel-partikel halus, gradasi dan kehalusan abu batu dapat memenuhi persyaratan gradasi untuk mineral filler. penelitian ini membahas mengenai pengaruh kadar filler abu batu pada perkerasan jalan AC-BC.

Berdasarkan hasil perhitungan kadar aspal, nilai KAO yang didapat sebesar 6,00 %, Hasil pengujian dilaboratorium menunjukkan nilai stabilitas dan flow pada kombinasi I lebih rendah dibandingkan dengan nilai stabilitas dan flow pada kombinasi II. Dengan melihat kedua perbedaan kadar aspal efektif tampak jelas bahwa kombinasi I membutuhkan relatif lebih banyak aspal bila dibandingkan dengan kombinasi II.

Kata kunci : Aspal, Filler, Abu batu bara, Marshall, Flow.

ABSTRACT

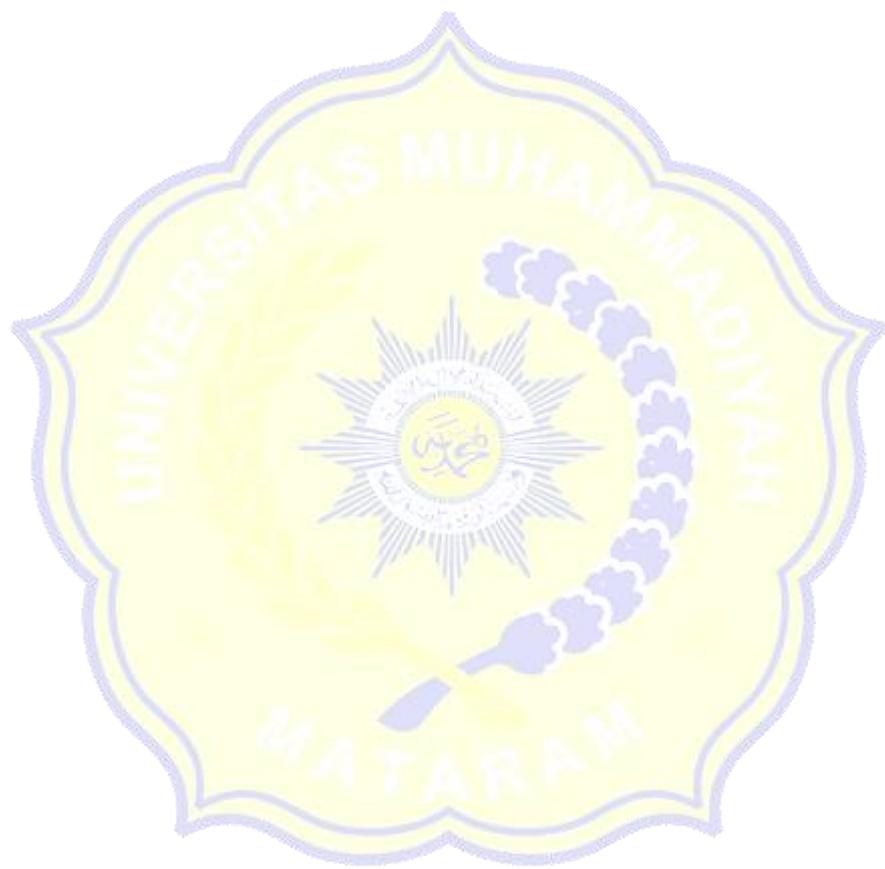
Roads as a means of land transportation are increasingly essential to support economic, information, social, cultural, and national resilience improvements. Recently, road construction carried out along with improving quality and saving construction costs. The development of research on road pavement construction materials, especially flexible pavements, is directed at the use of local materials and adapted to the conditions of the area where the hardening construction will be carried out.

Rock ash is an artificial aggregate. Aggregate, which is a mineral filler (particles with a size <0.075 mm), is obtained from the by-products of cement factories or stone crusher machines. This material type is needed for mixtures in the asphaltting process and can be used as a substitute for sand. Rock ash consisting of fine particles, gradations, and the fineness of rock ash to meet the grading requirements for mineral fillers. This study discusses the effect of rock ash filler content on pavement AC-BC.

Based on the calculation of asphalt content, the KAO value obtained is 6.00%, the laboratory test results show that the stability and flow values in combination I are lower than the stability and flow values in combination II. By looking at the two differences in effective asphalt content, it is clear that combination I requires relatively more bitumen when compared to the combination II.

Keywords: Asphalt, Filler, Coal ash, Marshall, Flow.

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM
An KEPALA
LABORATORIUM BAHASA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
Moh. Farzi Bafadal, M.Pd.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya sebagai salah satu sarana transportasi darat, kegunaannya dirasakan semakin penting untuk menunjang peningkatan perekonomian, informasi, sosial, budaya dan ketahanan nasional. Pembangunan jalan yang dilaksanakan pada masa sekarang dihadapkan pada penyempurnaan kualitas dan penghematan biaya pembangunan. Perkembangan penelitian tentang bahan konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur (*flexible pavement*) diarahkan pada usaha pemanfaatan material setempat dan disesuaikan dengan kondisi daerah dimana konstruksi pengerasan akan dilaksanakan.

Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi Jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, diantaranya harganya yang relatif lebih murah dibanding beton, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. *Hot Rolled Sheet* adalah salah satu jenis campuran aspal panas yang terdiri dari campuran agregat halus, agregat kasar, *filler* dan aspal yang membentuk mortar atau spesi dengan aspal

sebagai pengikat. Susunan agregatnya bergradasi terbuka atau senjang dimana ada satu bagian fraksi yang tidak terdapat dalam campuran.

Campuran Lataston bergradasi senjang akan mempunyai fraksi agregat berukuran sedang semakin berkurang, sehingga campuran aspal tidak akan seragam, hal ini mengakibatkan rongga campuran semakin terbuka dan di isi oleh aspal yang mempunyai temperatur tinggi. Dalam proses pencampuran dan penghamparan, aspal yang berbentuk cair akan meleleh ke bawah dan mengalami kesulitan seperti *binder drainage*, tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan memberikan bahan pengisi (*filler*), sehingga campuran dapat menyerap aspal dengan baik karena *filler* memberikan peranan penting dalam meningkatkan fleksibilitas dan durabilitas campuran. *Filler* yang mengisi rongga diantara agregat akan meningkatkan kerapatan dan stabilitas campuran. Untuk mendapatkan konstruksi lapis keras yang memenuhi standar, diperlukan persyaratan kadar *filler* yang sesuai, karena dimungkinkan akan terjadi perubahan karakteristik campuran jika dalam campuran tersebut mempunyai kadar *filler* yang berbeda.

Abu batu merupakan agregat buatan. Agregat yang merupakan mineral filler/ pengisi (partikel dengan ukuran $< 0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen atau mesin pemecah batu. Material jenis ini banyak dibutuhkan untuk campuran dalam proses pengaspalan dan bisa digunakan sebagai pengganti pasir. Abu batu saat ini merupakan bahan hasil sampingan dalam industri pemecahan batu yang jumlahnya tidak

sedikit. Saat ini di kota kota besar abu batu tidak begitu laku untuk dijual karena pemakaian dalam industri konstruksi tidak banyak mengingat konstruksi perkerasan jalan dengan Lapen sudah banyak beralih ke lapisan aspal beton. Namun pada beberapa daerah material ini masih tetap dipakai dan menjadi kebutuhan terutama dalam pekerjaan perkerasan jalan aspal.

Pemanfaatan abu batu adalah salah satu cara untuk menangani abu hasil pembakaran dari pekerjaan industri yang jumlahnya sangat besar, walaupun nilai ekonomi rendah, tetapi pemanfaatan ini dapat mengurangi biaya penanganan limbah. Abu batu terdiri dari partikel-partikel halus, gradasi dan kehalusan abu batu dapat memenuhi persyaratan gradasi untuk mineral *filler*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara menentukan kadar aspal total dalam campuran ?
2. Bagaimana variasi campuran optimal dalam mencapai stabilitas dan *flow* yang disyaratkan dengan penggunaan *filler* abu batu ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin didapat dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran aspal beton AC-BC dengan menggunakan *filler* abu batu terhadap nilai kadar aspal optimum
2. Untuk mendapatkan variasi campuran optimal dalam mencapai stabilitas dan *flow* yang disyaratkan dengan penggunaan *filler* abu batu

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pengaruh kadar *filler* abu batu sebagai campuran aspal beton
2. Penentuan kadar aspal total dalam campuran

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Teoritis

- a. Memberikan pemahaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh kadar *filler* abu batu terhadap karakteristik marshall pada campuran Aspal beton AC-BC
- b. Mengembangkan pengetahuan mengenai dunia konstruksi khususnya lapisan perkerasan jalan yaitu mengenai karakteristik Marshall.

1.5.2 Praktis

- a. Memberikan solusi dalam pemanfaatan abu batu.
- b. Mengetahui nilai uji Marshall dengan penggunaan *filler* abu batu dalam campuran aspal beton AC-BC

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Perkerasan jalan

Menurut Sukirman (2003), Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yaitu berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat dipakai antara lain adalah batuh pecah, batuh belah, batu kali, dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antaran lain adalah aspal, semen, dan tanah liat. Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi jalan dibedakan atas 3 macam, yaitu :

1. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Bahan konstruksi perkerasan lentur terdiri atas bahan ikat (aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis yaitu lapisan tanah (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub base*), lapisan

pondasi (*base*) dan lapisan penutup (*surface*). Masing-masing elemen lapisan tersebut termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas. Dari atas sampai bawah maka tebal lapisan menjadi semakin besar, hal ini seiring dengan harga materialnya yang semakin kebawah semakin murah.

2. Perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

Bagian dari perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar, lapisan pondasi bawah, lapisan beton (*blinding concrete*/ beton lantai kerja), lapisan pelat beton dan lapisan agregat/ aspal pasir yang bisa ada bisa tidak.

Perbedaan utama antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku dapat di lihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku

	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
Bahan pengikat	Aspal	Semen
Repetisi beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balokj diatas perletakan
Perubahan temperature	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar

Sumber: Sukirman, (2003)

3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Konstruksi perkerasan komposit yaitu perkerasan kakuyang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Lapis aspal beton

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, 2003).

Lapis yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus dicampur, dihampar, dan dipadatkan pada suhu tertentu. Lapis ini digunakan sebagai lapis permukaan struktural dan lapis pondasi.

Lapisan permukaan berupa campuran aspal keras dengan agregat bergradasi menerus. Fungsinya adalah sebagai pendukung beban lalu lintas, sebagai pelindung konstruksi di bawahnya, sebagai lapis aus dan menyediakan permukaan yang rata dan tidak licin. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah data perencanaan berupa jenis agregat, gradasi agregat, mutu agregat, jenis aspal keras, rencana tebal perkerasan dan jenis bahan pengisi. Sedangkan penentuan presentase aspal adalah presentase aspal ditambah pada agregat kering dan pemeriksaan melalui metode marshall *test*.

Sesuai fungsinya Laston mempunyai 3 macam campuran yaitu :

1. Laston sebagai lapis aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapis antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal adalah 5 cm, terletak dibawah lapisan aus (*Wearing Course*) dan di lapisan pondasi (*base course*).
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.

Lapisan aspal beton yang secara umum digunakan secara luas diberbagai Negara adalah direncanakan untuk memperoleh kepadatan yang tinggi, nilai struktural tinggi dan kadar aspal yang rendah. Hal ini biasanya mengarah menjadi suatu bahan yang relatif kaku, sehingga konsekuensi ketahanan rendah dan keawetan yang terjadi rendah pula.

2.2.2 Agregat

Agregat adalah elemen perkerasan jalan yang mempunyai acuan berat dan acuan volume dari komposisi perkerasan, sehingga otomatis menyumbangkan faktor kekuatan utama dalam perkerasan jalan. Berfungsi sebagai penstabil mekanis, agregat harus mempunyai suatu kekuatan dan kekerasan untuk menghindarkan terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas.

Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas dua macam, yaitu:

A. Agregat kasar

Agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, awet, keras, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407-2008	Maks.12%	
	Magnesium sulfat		Maks.18%	
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks.6%	
		500 putaran	Maks.30%	
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Kelekatan agregat pada aspal		SNI 03-2439-1991	Min.95%	
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90 ¹	
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks.10%	
Material lolos ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks.2%	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal

B. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan NO.8 (2,36 mm). Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60 %
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45 %
Gumpalan Lempeng dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1 %
Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10 %

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal

C. Gradasi

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat.

Menurut Andi Tenrisukki Tenriajeng, gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)/ gradasi terbuka (*open graded*)

Gradasi seragam adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/ sejenis atau mengundang agregat harus yang sedikit jumlahnya

sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik. Gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek, dan berat volume besar.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang merupakan campuran yang tidak memenuhi dua kategori di atas. *Aggregate* bergradasi buruk yang umumnya digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan satu fraksi hilang atau satu fraksi sedikit. Gradasi seperti ini disebut gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Pada campuran aspal khususnya aspal beton, gradasi agregat sangat berpengaruh pada kualitas campuran aspal itu sendiri. Pada agregat tingkat keseragaman butir beraneka ragam dan biasa dinyatakan dalam persentase lolos, atau presentase tertahan, yang didapat dari proses perhitungan berdasarkan berat agregat dengan menggunakan satu set saringan agregat dengan pengujian *Sieve Analysis Test*. Ada batasan-

batasan tertentu pada gradasi agregat yang kemudian disebut dengan batas, berikut macam batas pada agregat dikenal dengan batas atas, batas tengah/ideal atau batas bawah. Berikut penjelasan tentang syarat batas atas dan bawah untuk lapisan aspal beton AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) untuk masing-masing ukuran saringan yang diambil dari spesifikasi Bina Marga 2010 divisi VI yang diterangkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal

Ukuran ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	Laston (AC)		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
37,5	-	-	100
25	-	100	90-100
19	100	90-100	76-90
12,5	90-100	75-90	60-78
9,5	77-90	66-82	52-71
4,75	53-69	46-64	35-54
2,36	33-53	30-40	23-41
1,18	21-40	18-38	13-30
0,600	14-30	12-28	10-22
0,300	9-22	7-20	6-15
0,150	6-15	5-13	4-10
0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.3 Bahan pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian adalah Abu Batu.

Abu batu merupakan partikel halus yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dimana abu batu tersebut memiliki sifat keras, awet, dan unsur pozzolan. Sehingga abu batu bisa digunakan dalam campuran aspal (sukirman 2003).

Abu batu adalah material yang sangat halus yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Abu batu dapat dijadikan filler karena ukuran partikelnya yang sangat halus yang lolos saringan bila disaring dengan menggunakan saringan No. 200 (75 micron) dan mengandung unsur pozzolan, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat pada aspal beton (Adibroto et al, 2008).

Bahan pengisi (*filler*) harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis.

Fungsi *filler* dalam campuran adalah :

- a. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
- b. *Filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.
- c. Mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

2.2.4 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air, dan mudah dikerjakan. Aspal merupakan bahan yang plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat (Hendarsin 2000).

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat *viskoelastis* inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Oleh sebab itu, aspal sering disebut material berbitumen.

Umumnya aspal dihasilkan dari penyulingan minyak bumi sehingga disebut aspal keras. Tingkat pengontrolan yang dilakukan pada tahapan proses penyulingan akan menghasilkan aspal dengan sifat-sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya.

Jenis aspal terdiri dari aspal keras, aspal cair, aspal emulsi, aspal alam, yaitu :

a) Aspal keras

Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya.

b) Aspal cair

Aspal cair merupakan aspal hasil dari pelarutan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak.

c) Aspal emulsi

Aspal emulsi dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air.

d) Aspal alam

Aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal alam dikelompokkan ke dalam 2 kelompok, yaitu aspal danau dan aspal batu.

2.2.5 Karakteristik campuran beraspal

Menurut Andi Tenrisukki Tenriajeng, terdapat enam karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal. Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar

butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan:

- a. Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar
- c. Agregat yang terbentuk kubus
- d. Aspal dengan penetrasi rendah
- e. Aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

Agregat dengan gradasi baik, atau bergradasi rapat akan memberikan rongga antar butiran agregat (*void in mineral aggregate*) yang kecil untuk menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *Void In Mineral Aggregate* (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan terjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antara campuran (*void in mix* = VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang disebut *bleeding*.

2. Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan

suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- a. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksida dan aspal menjadi rapuh (getas).
 - b. VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
 - c. *Film* (selimut) aspal, *film* aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.
3. Kelenturan (*fleksibilitas*) adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :
- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
 - b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi)
 - c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya

kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
 - b. VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapisan perkerasan menjadi fleksibel.
5. Kekesatan terhadap slip (*Skid Resistance*) adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip balik diwaktu hujan (basah) maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh :
- a. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
 - b. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*
 - c. Penggunaan agregat berbentuk kubus
 - d. Penggunaan agregat kasar yang cukup
6. Kemudahan pelaksanaan (*Workability*) adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh:
- a. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain
 - b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis

- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit

2.2.6 Sifat *volumetric* campuran aspal beton

Kinerja aspal beton sangat ditentukan oleh *volumetric* campuran aspal beton padat yang terdiri dari:

A. Berat Jenis *Bulk* Agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula. Karena agregat total terdiri dari atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda.

B. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada suatu volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula.

C. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif rata-rata.

D. Penyerapan aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total tidak terhadap campuran.

E. Kadar aspal efektif

Kadar efektif campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya menentukan kinerja perkerasan aspal.

F. Rongga di antara *Mineral Agregat* (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *Bulk* Agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran total dengan persamaan 2-1 sampai dengan persamaan 2-2:

a. Terhadap berat campuran total

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2-1)$$

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \quad (2-2)$$

Dengan :

VMA = Rongga diantara agregat, persen volume *bulk*

G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat

G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran padat

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

P_b = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran

G. Rongga di dalam campuran (VIM)

Rongga di dalam campuran atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal.

H. Rongga terisi aspal (VFA)

Rongga terisi aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

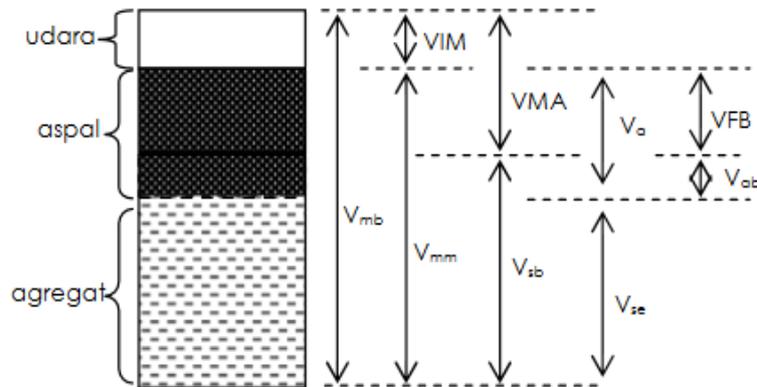
2.2.7 Perhitungan *volumetrik* marshall

a. Umum

Tiga sifat dari benda uji campuran aspal panas ditentukan pada analisa rongga density, sifat tersebut adalah :

- Berat isi dan atau berat jenis benda uji padat
- Rongga dalam agregat mineral
- Rongga udara dalam campuran padat

Dari berat contoh dan presentase aspal dan agregat dan berat jenis masing masing volume dari material yang bersangkutan dapat ditentukan. Volume ini diperlihatkan pada gambar 2.1 berikut :



(Sumber : sukirman 2003, beton aspal campuran aspal)

Gambar 2.1 Skematis berbagai jenis volume campuran aspal panas

Keterangan gambar :

V_{mb} = volume *bulk* dari campuran padat

V_{ab} = volume agregat, adalah volume *bulk* dari agregat (volume bagian masif + pori yang ada didalam masing masing butir agregat)

V_{se} = volume, agregat adalah volume efektif dari agregat (volume bagian massif + pori yang tidak terisi aspal didalam masing masing agregat)

VMA = volume pori diantara butir agregat didalam campuran

V_{mm} = volume tanpa pori dari campuran

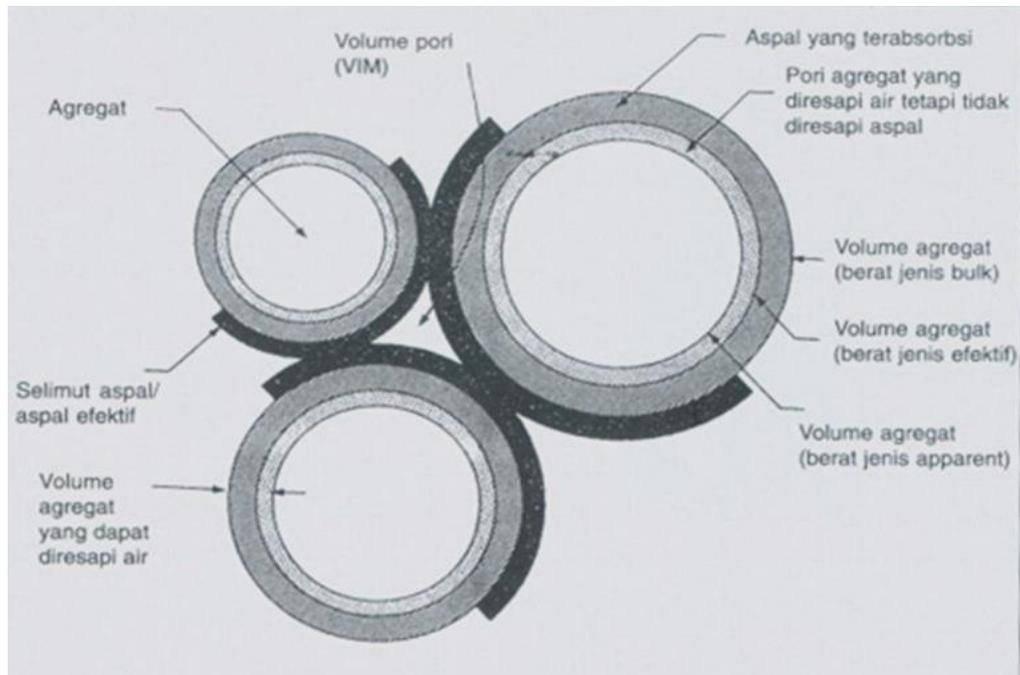
VIM = volume pori dalam campuran padat

V_a = volume aspal dalam campuran padat

VFA = volume pori dalam campuran yang terisi oleh aspal

V_{ab} = volume aspal yang terabsorbsi kedalam agregat dari campuran padat

Ilustrasi tentang VIM ini diperlihatkan pada gambar 2.2 berikut :



Sumber : Sukirman 2003, beton aspal campuran panas

Gambar 2.2 Ilustrasi pengertian tentang VIM, selimut aspal (*film aspal*), aspal yang terabsorpsi

Dengan demikian rumus perhitungan *volumetric* dari item 1 sampai dengan 4 (yang di isyaratkan dalam spesifikasi teknis) maka hasil uji marshall dapat dihitung secara bersamaan dengan parameter perhitungan stabilitas, kelelahan (*flow*) serta hasil bagi stabilitas dengan *flow* (*marshall Quotient*).

2.2.8 Uji marshall

Menurut Sukirman (2003), kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall. Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S. *Corps Of Engineer*. Pengujian Marshall bertujuan untuk

mengukur daya tahan (*stability*) campuran agregat dan aspal terhadap kelelehan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelehan plastis adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi oleh cincin penguji (*proving ring*) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukuran yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat juga arloji kelelehan (*flow meter*) untuk mengukur kelelehan plastis (*flow*). Benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan *hammer* seberat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm) yang dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/ menit. Dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat Marshall diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Kadar aspal, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka dibelakang koma.
2. Berat volume, dinyatakan dalam ton/m³.
3. Stabilitas, dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas menunjukkan kekuatan, ketahanan terhadap terjadinya alut (*ruting*).
4. Kelelehan plastis (*flow*), dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. *Flow* dapat merupakan indikator terhadap lentur.

5. VIM, persen rongga dalam campuran, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas, kemungkinan *bleeding*.
6. VMA, persen rongga terhadap agregat, dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA bersama dengan VIM merupakan indikator dari durabilitas.
7. Hasil bagi marshall (koefisien marshall, merupakan hasil bagi stabilitas dan *flow*). Dinyatakan dalam kN/mm, merupakan indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan.
8. Penyerapan aspal, persen terhadap berat campuran, sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektifnya.
9. Tebal lapisan aspal (*film* aspal), dinyatakan dalam mm. *Film* aspal merupakan petunjuk tentang sifat durabilitas campuran.
10. Kadar aspal efektif, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka dibelakang koma.

2.2.9 Spesifikasi dan perencanaan campuran

Dari pembahasan sebelumnya terlihat bahwa sifat campuran sangat ditentukan dari gradasi agregat, kadar aspal total dan kadar aspal efektif, VIM, VMA, dan sifat bahan baku sendiri. Variasi dari hal tersebut akan menghasilkan kualitas dan keseragaman campuran yang berbeda-beda. Untuk itu agar dapat memenuhi kualitas dan keseragaman jenis lapisan yang telah dipilih dalam perencanaan perlu dibuatkan spesifikasi campuran yang menjadi dasar pelaksanaan di lapangan. Dengan

spesifikasi itu diharapkan dapat diperoleh sifat campuran yang memenuhi syarat teknis dan keawetan yang diharapkan.

Spesifikasi campuran berbeda-beda, dipengaruhi oleh :

1. Perencanaan tebal perkerasan, yang dipengaruhi oleh metode apa yang digunakan.
2. Ekspresi gradasi agregat, yang dinyatakan dalam nomor saringan. Nomor-nomor saringan mana saja yang umum dipergunakan dalam spesifikasi.
3. Kadar aspal yang umum dinyatakan dalam persen terhadap berat campuran seluruhnya.
4. Komposisi dari campuran, meliputi agregat dengan gradasi yang bagaimana yang akan dipergunakan.
5. Sifat campuran yang diinginkan, dinyatakan dalam nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, tebal *film* aspal.
6. Metode rencana campuran yang digunakan.

Perencanaan campuran diperlukan untuk mendapat resep campuran yang memenuhi spesifikasi, menghasilkan campuran yang memenuhi kinerja yang baik dari agregat yang tersedia.

Metode perencanaan campuran yang umum dipergunakan di Indonesia adalah:

1) Metode Bina Marga

Perencanaan campuran dengan menggunakan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah

ditetapkan dalam spesifikasi. Pencampuran agregat yang tersedia di lokasi divariasikan untuk dapat memenuhi syarat rongga udara, tebal *film* aspal dan stabilisasi. Jadi pada metode ini rongga udara dalam campuran merupakan kriteria pokok bersama dengan kadar aspal efektif yang akhirnya menentukan tebal *film* aspal yang terjadi. Karena bertitik tolak dari rongga udara dan film aspal, maka campuran yang menggunakan metode ini mempunyai sifat durabilitas yang tinggi dan karenanya sering disebut sebagai campuran aspal dengan durabilitas tinggi. 3 jenis campuran aspal dengan durabilitas tinggi yang dapat dihasilkan dengan menggunakan metode ini yaitu HRS kelas A, untuk jalan dengan lalu lintas rendah, HRS kelas B, untuk jalan dengan lalu lintas tinggi, ATB dan ATBL sebagai lapis pondasi.

Prosedur perencanaan campuran dengan metode CQCMU adalah sebagai berikut :

- a. Pemilihan agregat dan penentuan sifat-sifatnya yang harus sesuai dengan spesifikasi material.
- b. Penentuan campuran nominal berdasarkan sifat-sifat yang diperoleh pada langkah 1 dan dari kadar aspal efektif yang ditentukan dalam spesifikasi.
- c. Pemeriksaan sifat campuran di laboratorium tahap pertama. Pemeriksaan sifat campuran tahap pertama ini dengan mengambil kadar aspal tetap yaitu kadar aspal efektif + persen absorpsi aspal yang diperkirakan + 40 % absorpsi air.

- d. Pemeriksaan sifat campuran di Laboratorium tahap kedua bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum persentase penambahan bahan pengisi jika diperlukan terhadap proporsi agregat kasar dan perbandingan pasir dan abu batu terbaik yang merupakan hasil pemeriksaan tahap pertama.
- e. Korelasi hasil perencanaan campuran di Laboratorium dengan mesin campuran AMP.
- f. Pemeriksaan percobaan produksi mesin pencampur.

2) Metode *asphalt institut*

Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu, yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung *Filler*. Berarti gradasi campuran yang digunakan pada metode ini adalah agregat bergradasi baik/ menerus. Batas gradasi campuran yang diizinkan dan sifat campuran yang diinginkan diberikan pada spesifikasi.

Kadar aspal optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan marshall di laboratorium dari beberapa contoh dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan gradasi agregat tetap. Kadar aspal optimum adalah kadar aspal yang menghasilkan sifat campuran terbaik.

2.3 Tahapan Penelitian

2.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu set saringan (*sieve*)

Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat.

2. Alat uji pemeriksaan aspal

Pemakaian alat ini digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain seperti uji penetrasi, uji titik lembek, uji kehilangan berat, uji dektilitas, uji berat jenis (piknometer dan timbangan)

3. Alat uji pemeriksaan agregat

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain tes abrasi, alat pengering yaitu oven, timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas)

4. Alat uji karakteristik campuran agregat dan aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall meliputi :

- a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 Ibs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flow meter*.
- b. Alat cetak benda berbentuk silinder 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm).
- c. *Marshall Automatic Compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
- d. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- e. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengaturan suhu.

- f. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan campuran, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, pan, dan *tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.

2.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Agregat kasar

Agregat yang digunakan yaitu agregat dengan ukuran butiran standar untuk lapis perkerasan jalan laston.

2. Agregat halus

Agregat halus didapat dari proses disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

3. Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pertamina dengan penetrasi 60/70.

4. Bahan pengisi/ atau material lolos saringan No.200 (*Filler*)

Filler yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.

5. Bahan tambahan yang digunakan adalah abu batu.

2.3.3 Pengujian laboratorium

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebelumnya diuji di laboratorium untuk mendapatkan bahan yang memenuhi syarat-syarat

bahan pekerjaan jalan. Adapun pengujian yang dilakukan seperti di bawah ini.

2.3.4 meriksan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini berpedoman pada SNI-03-1969-2008, berikut penjelasanya:

Sumber : Spesifikasi umum bina marga tahun 2010 revisi 2 seksi 6.3
campuran beraspal panas

1. Tujuan

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan.

2. Peralatan

Peralatan yang dipakai meliputi:

- a) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No. 6) atau 2,36 mm (No. 8) dengan kapasitas kira-kira 5 kg;
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap;
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang;
- d) Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;

- e) Alat pemisah contoh;
- f) Saringan no. 4 (4,75 mm).

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no. 4 (4,75) mm diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak kira-kira 5 kg.

4. Cara Pengujian atau Prosedur

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan;
- b) Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $(110^{\circ} \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap sebagai catatan, penyerapan dan harga berat jenis yang digunakan dalam pekerjaan beton, bilamana agregatnya digunakan pada keadaan kadar air aslinya, maka tidak perlu dilakukan pengeringan dengan oven;
- c) Benda uji di dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,5 gram (bk);
- d) Benda uji direndam dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam;
- e) Benda uji dikeluarkan dari air, lalu dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan halus satu persatu;
- f) Benda uji ditimbang kering permukaan jenuh (bj);

- g) Benda uji diletakkan didalam keranjang, goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap. Lalu ditentukan beratnya di dalam air (B_a), dan diukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25°C);
- h) Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir berat dan ringan, bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan sangat hati-hati, dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulangan diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

5. Perhitungan

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar pada persamaan 2-3 sampai dengan 2-6 sebagai berikut:

- a) Berat jenis (*bulk specific gravity*)

$$b) = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (2-3)$$

- c) Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (2-4)$$

- d) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \quad (2-5)$$

e) Penyerapan (absorpsi)

$$= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \quad (2-6)$$

Dengan :

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

2.3.5 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus ini berpedoman pada SNI-03-1970-2008, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan pengujian adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus.

2. Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

- a) Timbangan, kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram;
- b) Piknometer dengan kapasitas 500 ml;
- c) Kerucut terpancung, diameter bagian atas (40 ± 3) mm, diameter bagian bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm;
- d) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram, diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm;
- e) Saringan No. 4 (4,75 mm);

- f) Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- g) Pengukuran suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C ;
- h) Talam;
- i) Bejana tempat air;
- j) Pompa hampa udara atau tungku;
- k) Desikator.

3. Benda uji

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan No. 4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat (*quartering*) sebanyak 100 gram.

4. Cara Pengujian

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a) Benda uji dikeringkan didalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap, yang dimaksud berat tetap adalah keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut, tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar daripada 0,1 %; dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4) jam;
- b) Air perendam dibuang dengan hati-hati, agar tidak ada butiran yang hilang, agregat ditebarkan diatas talam, dikeringkan di udara

- panas dengan cara membalik-balikan benda uji; pengeringan dilakukan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh;
- c) Keadaan kering permukaan jenuh diperiksa dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, dipadatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, kerucut terpancung lalu diangkat; keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak;
 - d) Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, 500 gram benda uji dimasukkan ke dalam piknometer, air suling dimasukkan sampai mencapai 90% isi piknometer, diputar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya; untuk mempercepat proses ini dapat dipergunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terhisap, dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer;
 - e) Piknometer direndam dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25°C;
 - f) Air ditambahkan sampai mencapai tanda batas;
 - g) Piknometer berisi air dan benda uji ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram (Bt);
 - h) Benda uji dikeluarkan, dikeringkan dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator;
 - i) Setelah benda uji dingin kemudian ditimbang (Bk);

- j) Ditentukan berat piknometer berisi air penuh dan suhu air diukur menggunakan penyesuaian dengan suhu standar 25°C (B).

5. Perhitungan

Dalam metode ini dilakukan perhitungan pada persamaan 2-7 sampai dengan 2-10 sebagai berikut:

- a) Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

$$= \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \quad (2-7)$$

- b) Berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*)

$$= \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \quad (2-8)$$

- c) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$= \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \quad (2-9)$$

- d) Penyerapan (absorpsi)

$$= \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100 \% \quad (2-10)$$

Dengan :

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh
(gram)

2.3.6 Pengujian *Angularitas* Agregat Kasar dan Halus

Angularitas merupakan suatu pengukuran penentuan jumlah agregat berbidang pecah. Susunan permukaan yang kasar yang menyerupai kekasaran kertas ampelas mempunyai kecenderungan untuk menambah kekuatan campuran, dibanding dengan permukaan yang licin. Ruang agregat yang kasar biasanya lebih besar sehingga menyediakan tambahan bagian untuk diselimuti oleh aspal.

Agregat dengan permukaan licin dengan mudah dapat dilapisi lapisan aspal tipis (*asphalt film*), tetapi permukaan seperti ini tidak dapat memegang lapisan aspal tersebut tetap pada tempatnya.

Tata cara pengujian *angularitas* agregat kasar diuraikan oleh Pennsylvania DoT Test Method No. 621 dan *angularitas* agregat halus ditentukan berdasarkan AASHTO TP-33 atau ASTM C 1252.

A. Pengujian *Angularitas* Agregat Kasar

Pengujian *angularitas* agregat kasar ini berpedoman pada Revisi SNI 03-1737-1989, berikut penjelasannya:

1. Umum:

Sifat-sifat agregat dengan kriteria *angularitas* adalah untuk menjamin gesekan antar agregat dan ketahanan terhadap alur (*rutting*). *Angularitas* agregat kasar didefinisikan sebagai persen berat butiran agregat yang lebih besar dari 4,75 mm (No.4) dengan satu bidang pecah atau lebih. Suatu pecahan didefinisikan sebagai suatu yang bersudut, kasar atau permukaan pecah pada butiran agregat yang

dihasilkan dari pemecahan batu, dengan cara buatan lainnya, atau dengan cara alami. Kriteria angularitas mempunyai suatu nilai minimum dan tergantung dari jumlah lalu lintas serta posisi penempatan agregat dari permukaan perkerasan jalan. Suatu muka dipandang pecah hanya bila muka tersebut mempunyai proyeksi luas paling sedikit seluas seperempat proyeksi luas maksimum (luas penampang melintang maksimum) dari butiran dan juga harus mempunyai tepi-tepi yang tajam dan jelas.

2. Peralatan:

- Ayakan
- Timbangan kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram.

3. Benda Uji:

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no.4 sebanyak 5 kg

4. Prosedur:

- Agregat kasar tertahan yang sudah dicuci diambil dan dikeringkan sekitar 500 gram.
- Bahan yang tertahan ayakan no.4 (4,75 mm) dipisahkan dan dibuang bahan yang lolos no.4 (4,75 mm), kemudian ditimbang sisanya (b).
- Semua fraksi pecah dalam contoh dipilih dan ditentukan beratnya dalam gram terdekat (A).

5. Perhitungan:

Angularitas Agregat Kasar

$$= (A / B) \times 100 \quad (2-11)$$

Dengan :

A = berat fraksi pecah.

B = berat total contoh yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm).

B. Pengujian *Angularitas* Agregat Halus

Pengujian angularitas agregat halus ini berpedoman pada SNI 03-6877-2002, berikut penjelasannya:

1. Umum:

Sifat-sifat agregat dengan kriteria *angularitas* adalah untuk menjamin gesekan antar agregat dan ketahanan terhadap alur (*rutting*). Angularitas agregat halus didefinisikan sebagai persen rongga udara pada agregat lolos ayakan No.8 (2,36mm) yang dipadatkan dengan berat sendiri. *Angularitas* agregat halus diukur pada agregat halus yang terkandung dalam agregat campuran, diuji dengan AASHTO TP-33, ASTM Standard Method of Test C1252, Metode Pengujian untuk menentukan Rongga Udara dalam Agregat Halus yang tidak dipadatkan (sebagaimana dipengaruhi oleh Bentuk Butiran, Tekstur permukaan dan Gradasi). Semakin tinggi rongga udara berarti semakin tinggi persentase bidang pecah dalam agregat halus.

2. Peralatan:

- Ayakan
- Timbangan kapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram.
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

3. Benda Uji:

Benda uji adalah agregat halus lolos Saringan No.4 sebanyak 1000 gram.

4. Prosedur:

- Agregat halus lolos ayakan No.8 (2,36 mm) yang sudah dicuci diambil dan dikeringkan, kemudian dituangkan kedalam silinder kecil yang sudah diukur dan dikalibrasi volumenya (V) melalui corong standar yang dipasang diatas silinder dengan suatu kerangka dan mempunyai jarak tertentu.
- Berat agregat halus (W) yang diisi ke dalam silinder yang sudah diukur volumenya kemudian dihitung dan ditimbang.
- Berat Jenis Kering Oven agregat halus diukur (Gsb)
- Volume agregat halus dihitung dengan menggunakan Berat Jenis Kering Oven agregat halus (W/Gsb).

5. Perhitungan:

Rongga udara dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\frac{V - (W / Gsb)}{V} \times 100 \% \quad (2-12)$$

2.3.7 Pemeriksaan berat jenis filler

1. Tujuan:

- Menentukan Berat Jenis *Filler*.

2. Peralatan:

- Tabung/gelas dan penutupnya.
- Timbangan dan oven.

3. Benda uji:

Benda uji adalah abu batu yang lolos saringan No.200 sebanyak 100 gram.

4. Prosedur:

- Tabung/ gelas dan penutupnya ditimbang (A).
- Tabung/ gelas diisi dengan air sampai penuh kemudian ditutup dengan penutup kaca. Diupayakan agar tidak terlihat ada rongga udara yang terperangkap. Kelebihan air dikeringkan dengan kertas tisu, lalu ditimbang (B). Kemudian buang air dan keringkan tabung/ gelas.
- Seperti langkah kedua diatas, namun diisi dengan Dilatameric Liquid (DL), lalu ditimbang (C).
- Tabung/gelas diisi dengan *filler* minimal sepertiga volume tabung/gelas, dan ditimbang bersama penutup kacanya (D).
- Seperti langkah keempat diatas, dan ditambahkan dengan Dilatameric Liquid (DL), lalu ditimbang beserta penutup kaca (E).

5. Perhitungan:

- Berat jenis

$$= \frac{D - A}{(B - A) - \frac{(E - D)}{dDL}} ; \quad dDL = \frac{(C - A)}{(B - A)} \quad (2-13)$$

DL = *Dilatometric Liquid* (cairan yang tidak beraksi dengan *filler*)

dDL = Kepadatan dari DL

2.3.8 Pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal

Pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal ini berpedoman pada SNI 03-2439-1991, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah menentukan angka kelekatan agregat terhadap aspal.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Wadah untuk mengaduk, kapasitas minimal 500 ml;
- Timbangan dengan kapasitas 200 gram, ketelitian 0,1 gram;
- Pisau pengaduk dari baja (spatula) lebar 25 mm panjang 100 mm;
- Tabung gelas kimia (beker) kapasitas 600 ml;
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(150 \pm 1)^{\circ}\text{C}$.
- Saringan 6,3 mm (1/4") dan 9,5 mm (3/8");
- Termometer logam $\pm 200^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 100^{\circ}\text{C}$;

h) Air suling dengan pH 6,0 sampai 7,0.

3. Persiapan Benda Uji

Cara menyiapkan benda uji:

- a) Benda uji adalah agregat yang lewat saringan 9,5 mm (3/8") dan tertahan pada saringan 6,3 mm (1/4") sebanyak kira-kira 100 gram;
- b) Benda uji dicuci dengan air suling, dan dikeringkan pada suhu $140 \pm 5^\circ\text{C}$ hingga berat tidak berubah lagi (*constant*); disimpan didalam tempat yang tertutup rapat dan siap untuk diperiksa;
- c) Untuk pelapisan agregat basah perlu ditentukan berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) dan penyerapan dari agregat kasar.

4. Cara Pengujian

Pelapisan Agregat Kering Dengan Aspal Keras. Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a) Dimasukkan 100 gram benda uji ke dalam wadah;
- b) Wadah beserta benda uji dipanaskan selama 1 jam dalam oven dalam pada suhu tetap antara $140^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$;
- c) Aspal yang sudah panas dimasukkan $5,5 \pm 0,2$ gram;
- d) Lalu diaduk sampai merata dengan spatula yang sudah dipanasi selama 2 - 3 menit sampai benda uji terselimuti aspal;
- e) Kemudian didiamkan sampai mencapai suhu ruang;
- f) Benda uji yang terselimuti aspal dipindahkan ke dalam tabung gelas kimia kapasitas 600 ml.

2.3.9 Pemeriksaan keausan agregat (abrasi)

Pemeriksaan keausan agregat (abrasi) ini berpedoman pada SNI-2417-2008, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

2. Peralatan

Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Mesin abrasi *Los Angeles*, Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28 inci) panjang dalam 508 mm (20 inci), silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar, silinder berlubang untuk memasukkan benda uji, penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5 inci)
- b) Saringan No.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya
- c) Timbangan, dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram
- d) Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32 inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram

- e) Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- f) Alat bantu pan dan kuas.

3. Benda uji

Benda uji dipersiapkan dengan cara sebagai berikut:

- a) Gradasi dan berat benda uji
- b) Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

4. Persiapan benda uji

Persiapan benda uji terdiri atas:

- a) Agregat dicuci dan dikeringkan pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap;
- b) Agregat dipisah-pisahkan ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan dilakukan penimbangan;
- c) Fraksi-fraksi gabungan kembali agregat sesuai *grading* yang dikehendaki;
- d) Berat contoh dicatat dengan ketelitian mendekati 1 gram.

5. Cara pengujian

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut:

- a) Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat
- b) dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara seperti pada Tabel

2.5. di bawah:

Tabel 2.5 Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji

Ukuran Saringan				Gradasi dan Berat Benda Uji (gram)						
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3,0	63	2 1/2	-	-	-	-	1250±50	-	-
63	2 1/2	50	2,0	-	-	-	-	1250±50	-	-
50	2,0	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,5	1 1/2	25	1,0	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	1/4	4,75	No.4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	No.4	2,36	No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±11	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat Bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±25	5000±25	5000±25	5000±25

Sumber: BSN (2008)

- c) Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*;
- d) Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm; jumlah putaran gradasi A, gradasi B, gradasi C dan gradasi D adalah 500 putaran dan untuk gradasi E, gradasi F dan gradasi G adalah 1000 putaran;
- e) Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No.12 (1,70 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap;
- f) Jika material contoh uji homogen, pengujian cukup dilakukan dengan 100 putaran, dan setelah selesai pengujian disaring dengan saringan No.12 (1,70 mm) tanpa pencucian. Perbandingan hasil pengujian antara 100 putaran dan 500 putaran agregat tertahan di

atas saringan No.12 (1,70 mm) tanpa pencucian tidak boleh lebih besar dari 0,20;

g) Metode pada butir 5) tidak berlaku untuk pengujian material dengan metode ASTM C 535-96 yaitu *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse aggregate by Abrasion and impact in the Los Angeles Machine*.

6. Perhitungan

Untuk menghitung hasil pengujian, digunakan rumus berikut:

Keausan

$$= \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2-14)$$

Dengan :

a = berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram;

b = berat benda uji tertahan saringan No.12 (1,70 mm), dinyatakan dalam gram.

2.3.10 Pemeriksaan Keawetan (*Soundness Test*)

Pemeriksaan keawetan (*soundness test*) ini berpedoman pada SNI 03-3407

-1994, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh index ketangguhan batu yang akan digunakan sebagai bahan bangunan pada bangunan air.

2. Peralatan dan Bahan

a) Ayakan

Ayakan yang digunakan adalah sebagai berikut :

(1) Ayakan fraksi halus, seperti Tabel 2.6:

Tabel 2.6 Ayakan Fraksi Halus

Ukuran Lubang Ayakan		No. Ayakan
150	Mikron	100
300	Mikron	50
600	Mikron	30
1,20	Mm	16
2,40	Mm	8
4,00	Mm	5
4,75	Mm	4

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1994)

(2) Ayakan fraksi kasar, seperti Tabel 2.7:

Tabel 2.7 Ayakan Fraksi Kasar

Ukuran Lubang Ayakan		No. Ayakan
4,75	Mm	4
9,50	Mm	-
12,50	Mm	-
16,00	Mm	-
19,00	Mm	-
25,00	Mm	-
31,00	Mm	-
37,00	Mm	-
50,00	Mm	-
63,00	Mm	-

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1994)

b) Wadah

Wadah yang digunakan merendam contoh:

- (1) Wadah harus terbuat dari bahan yang berlubang-lubang, sehingga cairan perendam dapat dengan mudah meniris dari wadah tanpa membawa serta contoh yang hancur.

(2) Wadah tahan terhadap larutan magnesium atau natrium sulfat, dengan lubang saringan yang sesuai untuk butiran contoh yang diuji.

c) Timbangan

Timbangan terdiri dari:

(1) Timbangan untuk fraksi halus perlu ketelitian 0,1 grarn.

(2) Timbangan untuk fraksi kasar perlu ketelitian 1 gram.

Timbangan ini perlu dikalibrasi minimum 3 tahun satu kali.

d) Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji setelah satu siklus pengujian selesai pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

e) Hidrometer

Hidrometer untuk mengukur berat jenis cairan dengan ketelitian $\pm 0,001$ gr.

f) Larutan

Larutan natrium sulfat atau larutan magnesium sulfat dengan ketentuan sebagai berikut:

- Larutan natrium sulfat, dibuat dengan cara melarutkan $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kristal ke dalam air pada suhu antara $25^\circ\text{-}30^\circ\text{C}$ sehingga jenuh dengan berat jenis antara 1,151-1,174, dibuat 48 jam sebelum digunakan;
- Larutan magnesium sulfat, dibuat dengan cara melarutkan $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ kristal ke dalam air pada suhu antara $25^\circ\text{-}30^\circ\text{C}$

sehingga jenuh dengan berat jenis antara 1,295-1,308, dibuat 48 jam sebelum digunakan.

3. Benda Uji

Benda uji harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a) Fraksi halus harus menembus ayakan berukuran 9,5 mm, berat masing-masing fraksi (100 ± 5) gram, susunan fraksi halus seperti

Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Susunan Fraksi Halus

Lewat Ayakan Tertinggal		Diatas Ayakan	
Ukuran	Nomor	Ukuran Ayakan	No. Ayakan
9,50 mm	-	4,75 mm	4
4,75 mm	4	2,36 mm	8
2,36 mm	8	1,18 mm	16
0,60 mm	30	0,30 mm	50

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1994)

- b) Fraksi kasar harus lebih besar dari 4,75 mm, jumlah masing-masing fraksi tidak boleh kurang dari 15% keadaan aslinya, susunan masing-masing fraksi seperti pada Tabel 2.9 sebagai berikut:

Tabel 2.9 Susunan Fraksi Kasar

Ukuran Fraksi Antara Ayakan Ukuran	Berat Fraksi
4,75 mm - 9,50 mm	(300+5) gram
9,50 mm - 12,50 mm	(330+5) gram
12,50 mm - 19,50 mm	(670+10) gram
19,50 mm - 25,00 mm	(500+30) gram
25,00 mm - 37,50 mm	(1000+50) gram
37,50 mm - 50,00 mm	(2000+200) gram
50,00 mm - 63,00 mm	(3000+300) gram
fraksi > 63,00 mm berturut-turut meningkat 25,00 mm tiap fraksi	(7000+1000) gram

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1994)

(300+5) mm adalah berat untuk masing masing fraksi dalam satuan gram

- c) Bila benda uji terdiri dari fraksi halus dan kasar dengan gradasi > 10 % berat butiran lebih besar 9,50 mm dan > 10% berat butiran lebih kecil dari 4,75 mm, pengujiannya sesuai dengan pengujian fraksi halus dan fraksi kasar;
- d) Bila benda uji ternyata jumlahnya kurang dari 5% keseluruhan, tidak perlu diuji;
- e) Butiran yang lebih kecil dari 0,30 mm tidak diuji dianggap bagian yang hilang = 0, karena biasanya terdiri dari mineral-mineral yang tahan.

4. Persiapan Benda Uji

- a) Kesiapan peralatan yang akan digunakan diperiksa sesuai petunjuk pemakaian;
- b) Formulir untuk mencatat data pengujian disiapkan.
- c) Benda uji dicuci sampai bersih kemudian dikeringkan hingga berat tetap pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- d) Benda uji diperiksa kembali dan dicatat kondisi litologi, tingkat pelapukan, untuk fraksi besar catat pula jumlah butirnya;
- e) Benda uji untuk fraksi halus diayak menggunakan ayakan sesuai dengan tabel 3.2 sedangkan untuk fraksi kasar sesuai dengan tabel 3.3;
- f) Masing-masing fraksi ditimbang, untuk fraksi halus diperlukan (100 ± 5) gram.

5. Cara Pengujian

- a) Benda uji direndam di dalam larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat yang sudah disiarkan menggunakan wadah tertutup selama 16 hingga 18 jam, dengan tinggi larutan 1 cm di atas benda uji;
- b) Benda uji diangkat dari dalam larutan lalu dibiarkan meniris (15 ± 5) menit, setelah itu dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, berat benda uji dianggap tetap apabila setelah 4 jam kehilangan beratnya tidak lebih dari 0,19 gram;

- c) Didinginkan sampai mencapai suhu ruangan, kemudian disiapkan untuk direndam pada siklus berikutnya;
- d) Siklus perendaman dan pengeringan diulangi sebanyak 5 kali;
- e) Masing-masing fraksi dicuci sehingga bersih dari garam sulfat menggunakan larutan BaCl_2 atau menggunakan air panas bersuhu $\pm 40 - 50^\circ\text{C}$, sehingga larutan atau air tetap jernih;
- f) Dihindari dari terjadinya guncangan yang mengakibatkan butiran-butiran benda uji pecah pada waktu melakukan pencucian
- g) Dikeringkan, kemudian didinginkan dan diayak, untuk fraksi halus menggunakan ayakan yang dipergunakan untuk mempersiapkan contoh, untuk fraksi kasar gunakan ayakan seperti tabel 2.10 sebagai berikut:

Tabel 2.10 Ukuran Ayakan Fraksi Kasar

Untuk Fraksi	Ayakan yang Digunakan
(63,00)-37,00 mm	31,50 mm
(37,50)-19,00 mm	16,00 mm
(19,00)-9,50 mm	8,00 mm
(9,50)-4,75 mm	4,00 mm

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1994)

- h) Jangan lakukan paksaan butiran menembus ayakan pada waktu pengayakan dilakukan.
- i) Butiran-butiran yang tertinggal di atas ayakan ditimbang.
- j) Butiran yang lewat ayakan tertentu ditimbang.
- k) Butiran yang terselip pada lubang ayakan diperhitungkan sebagai butiran menembus lubang ayakan;

l) Butiran-butiran yang mengalami perubahan bentuk dicatat, misalnya: retak, pecah, belah, hancur dan lain sebagainya bagi benda uji fraksi kasar.

6. Perhitungan

Rumus yang digunakan dalam metode pengujian ini:

$$C = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (2-15)$$

Dengan :

C = Index ketangguhan benda uji dalam persen berat

A = Jumlah berat awal seluruh fraksi benda uji

B = Jumlah berat benda uji yang tertahan pada ayakan tertentu

Klasifikasi ketangguhan batu adalah sebagai berikut : batas tangguh bila diuji dengan menggunakan larutan natrium sulfat diperoleh index kekekalan < 10% atau bila diuji menggunakan larutan magnesium sulfat diperoleh index kekekalan < 12%.

2.3.11 Pemeriksaan kadar lumpur/lempung

Pemeriksaan kadar lumpur/ lempung ini berpedoman pada SNI 03-4141-1996, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana pembangunan jalan.

2. Peralatan

- a) Peralatan yang digunakan harus sudah dikalibrasi dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- b) Peralatan yang digunakan harus layak pakai sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat dalam kondisi kering oven dan harus sudah terlebih dahulu melalui pengujian, sesuai dengan SNI 03-4142-1963, tentang pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) :

- a) Benda uji agregat halus adalah agregat yang butirannya lolos saringan nomor 4 (4,75 mm) dan tertahan nomor 16 (1,18 mm) dengan berat minimum 100 gram:
- b) benda uji agregat kasar adalah agregat yang dipisahkan dalam beberapa fraksi dengan menggunakan saringan Nomor 4 (4,75 mm), 3/8" (9,50 mm), 3/4" (19,00 mm) dan 1 1/2" (38,10 mm) dengan berat minimum sesuai Tabel 2.11 dan tabel 2.12

Tabel 2.11 Berat kering minimum benda uji

Ukuran Agregat	Berat Kering Minimum Benda Uji(gram)
No. 4 (4,75 mm)-3/8" (9,50 mm)	1000
3/8" (9,50 mm) - 3/4" (19,00 mm)	2000
3/4" (19,00 mm) - 1 1/2" (38,10 mm)	3000
≥1 1/2" (38,10 mm)	5000

Sumber: Pustran-Balitbang PU (1996)

Tabel 2.12 Ukuran Saringan Untuk Penyaringan Basah

Ukuran Agregat	Ukuran Saringan untuk Memisahkan benda Uji yang Sudah Pecah
No.16 (1,18 mm)-No.4 (4,75 mm)	No.20 (0,85 mm)
No.4 (4,75 mm)-3/8" (9,50 mm)	No.8 (2,36 mm)
3/8" (9,50 mm)-3/4" (19,00 mm)	No.4 (4,75 mm)
3/4" (19,00 mm)-1 1/2" (38,10 mm)	No.4 (4,75 mm)
$\geq 1\ 1/2"$ (38,10 mm)	No.4 (4,75 mm)

Sumber: Pustran-Balitbang PU (1996)

4. Persiapan benda uji

Tahapan persiapan dilakukan sebagai berikut:

- a) Peralatan yang akan digunakan disiapkan.
- b) Identitas benda uji ditulis ke dalam formulir pengujian;
- c) Benda uji disiapkan dalam kondisi kering oven dengan melalui alat pemisah contoh, ditentukan beratnya, sehingga memenuhi ketentuan untuk benda uji agregat halus benda uji agregat kasar.

5. Cara pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan sebagai berikut:

- a) Wadah tanpa benda uji ditimbang.
- b) Benda uji ditimbang dan dimasukkan ke dalam wadah, lalu diratakan dalam bentuk tipis pada dasar wadah;
- c) Air suling dimasukkan ke dalam wadah, sehingga benda uji cukup terendam dan dibiarkan selama (24 ± 4) jam;
- d) Butir-butir yang mudah pecah dipecahkan dengan jari-jari, hingga menjadi halus. Cara memecahnya adalah dengan cara menekan

butiran antara ibu jari dan jari telunjuk, kuku jari tidak digunakan untuk memecah butiran;

- e) Benda uji yang sudah pecah dipisahkan dari sisa benda uji yang masih utuh dengan penyaringan basah di atas saringan;
- f) Butir-butir yang tertahan pada saringan dikeluarkan dengan hati-hati dan dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai mencapai berat tetap dan timbang sampai ketelitian $\pm 0,1 \%$;

6. Perhitungan

Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

- a) Persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

$$P = \frac{(W-R)}{W} \times 100\% \quad (2-16)$$

Dengan :

P = Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

w = Berat benda uji (gram);

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram).

- b) Untuk benda uji agregat kasar persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dihitung sebagai harga rata-rata dari persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah untuk masing-

masing fraksi yang dikoreksi dengan berat benda uji sesuai gradasi sebelum pemisahan;

- c) Untuk agregat kasar yang bergradasi kurang dari 5%, nilai persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah disamakan dengan nilai persen fraksi di atas atau di bawahnya yang mempunyai nilai terbesar.

2.3.12 Pemeriksaan kebersihan agregat halus (*sand equivalent*)

Pemeriksaan kebersihan agregat halus (*sand equivalent*) ini berpedoman pada SNI 03-4428-1997, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah untuk menyeragamkan cara pengujian pasir atau agregat halus yang plastis dengan cara setara pasir.

2. Peralatan

- a) Tabung plastik atau gelas tembus pandang dan tidak berwarna, diameter bagian dalam 31,8 mm, diameter bagian luar 38,1 mm, tinggi 432 mm, permukaan luar tabung dilengkapi dengan skala dari 0 sampai 15 dalam batuan inci untuk pembacaan indikator pasir; bagian dasar tabung dari bahan yang sama berukuran 100 mm x 100 mm x 12,5 mm; tutup silinder dari karet atau gabus atau bahan lain yang tidak larut dalam larutan *Calcium Chloride*, USP *Glycerine* atau Formalin;
- b) Pipa pengalir dari logam anti karat diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 508 mm; pipa *siphon* yang akan disambung dengan

pipa pengalir diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 406 mm;
pipa karet *siphon* diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 1220 mm; karet tiup yang disambung dengan tabung tiup dari tembaga diameter bagian dalam 6,35 mm, panjang 50,8 mm; tutup katet atau gabung dengan dua buah lubang yang akan dipasang pipa pengalir dan pipa tiup dari logam anti karat;

- c) Beban pemberat dari tembaga seberat (1000 ± 5) gram termasuk tangkai logam keping pelat bundar dan telapak pembeban; tangkai logam dari kuningan diameter 6,35 mm, panjang 444,5 mm; indikator pembacaan skala pasir berbentuk keping pelat bundar dari nilon dengan diameter 12,7 mm, tebal 15,00 mm teletak sejauh 254 mm atau pada skala pembacaan 10; telapak pembeban terbuat dari kuningan berbentuk segi delapan dengan diameter 30,00 mm;
- d) Dua buah botol kapasitas 3,79 liter atau 1 galon masing-masing untuk menyimpan larutan baku yang dibuat sesuai uraian pada butir 2.2.2 di bawah dan larutan kerja yang dapat ditempatkan di atas rak dengan tinggi (915 ± 25) mm dari permukaan kerja;
- e) Saringan nomor 4 (4,76 mm);
- f) Tabung penakar terbuat dari logam berdiameter bagian dalam 57 mm yang mempunyai volume (85 ± 5) ml, dilengkapi dengan mistar pendatar;

- g) Corong dengan mulut lebar berdiameter 100,00 mm untuk memindahkan benda uji ke dalam tabung plastik;
- h) Panci lebar yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan pembuat larutan baku dan larutan kerja;
- i) Arloji pengukur waktu dengan satuan menit dan detik;
- j) Alat pengaduk dan oven dengan pengatur suhu $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- k) Alat pengocok dapat digunakan salah satu dari alat berikut ini :
- (1) Alat pengocok mekanis setara pasir yang dapat bergerak sejauh $(203,2 \pm 1,02)$ mm, dan dapat beroperasi sebanyak (175 ± 2) gerakan permit;
 - (2) Alat pengocok manual yang mampu bergerak sebanyak 100 gerakan selama (45 ± 5) detik dengan jarak gerakan sejauh $(127 \pm 5,08)$ mm;
 - (3) Dengan menggunakan tangan yang mampu menggerakkan tabung secara mendatar sebanyak 90 gerakan selama 30 detik sejauh 200 sampai dengan 250 mm.

3. Bahan larutan baku dan bahan larutan kerja

- a) Larutan baku;

Bahan-bahan larutan baku terdiri dari:

- (1) 454 gram *technical anhydrous* CaCl_2 ;
- (2) 2050 gram (± 1640 ml) USP *glycerine*;
- (3) 47 gram (± 45 ml) *formaldehyde* dengan kepekatan 40% isi dalam larutan;

(4) Air suling 1890 ml;

(5) Saringan *Wattman* nomor 12.

b) larutan kerja;

(1) Larutan baku sebanyak (85 ± 5) ml;

(2) Air suling ± 3780 ml. Cara penyediaan larutan baku dan larutan kerja diuraikan pada butir 7.1.1 di bawah.

4. Benda uji

a) Pasir alam, abu batu atau pasir hasil mesin pemecah batu disaring dengan saringan nomor 4 (4.76 mm) sebanyak ± 1500 gram;

b) Bahan disiapkan dengan cara perempat untuk memperoleh benda uji sebanyak 4 x 85 ml;

c) Penyiapan benda uji dapat dilakukan dengan salah satu metode yaitu metode kering udara atau metode pra-basah, seperti diuraikan pada butir 7.3 di bawah

5. Persiapan benda uji

A. Persiapan larutan baku dan larutan kerja

a) Cara penyiapan larutan baku

(1) Bahan-bahan ditimbang sebagai berikut:

a. 454 gram *Technical Anhydrous CaCl₂*;

b. 2050 gram (± 1640 ml) *USP Glycerine*;

c. 47 gram (± 45 ml) *Formaldehyde* dengan kepekatan 40% isi dalam larutan.

- (2) Larutan CaCl_2 ke dalam 1890 ml air suling;
- (3) Disaring dengan saringan *Wattman* Nomor 12;
- (4) Ditambahkan *Glycerine* dan *Formaldehyde* ke dalam larutan tadi kemudian diaduk sampai merata.

b) Cara penyiapan larutan kerja

- (1) Diencerkan (85 ± 5) ml larutan baku dengan air suling sampai ± 3780 ml dan aduk sampai merata;
- (2) Dimasukkan ke dalam botol, ditutup dengan tutup karet atau kayu gabus yang telah dilengkapi dengan pipa-pipa,

B. Persiapan Peralatan

- a) Sebuah botol diisi dengan larutan kerja sebanyak 3,8 liter; botol ditempatkan lebih tinggi (914 ± 25) mm dari dasar tabung plastik penguji;
- b) Pipa-pipa karet yang diperlukan dipasang, satu pipa karet ujungnya dihubungkan dengan pipa siphon yang menyentuh dasar botol larutan kerja, dan ujung lainnya dihubungkan dengan pipa pengalir; hubungkan pipa karet yang lain dengan pipa tiup yang terpasang pada tutup botol larutan kerja.

C. Persiapan Benda Uji

Digunakan salah satu metode penyiapan benda uji dari dua alternatif metode berikut ini:

a) Metode kering udara;

Bahan yang sudah disaring dan diperempat sebanyak 85 ml diisikan ke dalam tabung penakar sampai berlebih, kemudian dipadatkan dengan cara mengetuk-ngetuk bagian bawah tabung penakar pada meja atau permukaan yang keras sampai mantap; dan diratakan dengan menggunakan mistar pendatar.

b) Metode pra-basah;

(1) Air dicampur pada bahan yang sudah disaring dan diperempat sampai berupa pasta, diremas-remas dengan tangan dan dikepal-kepal hingga bulat sehingga kalau dibiarkan tidak buyar;

(2) Ditambahkan air bila kadar air dalam pasta terlalu kering yang mengakibatkan pasta akan buyar; dikeringkan pula bila ternyata kelebihan air dan diaduk kembali agar merata;

(3) Pasta yang sudah disiapkan disimpan di dalam panci, tutup dengan penutup kain atau lap, lalu dibiarkan selama tidak kurang dari 15 menit;

(4) Contoh uji di atas kain lap tadi dipindahkan, dibungkus dan diaduk-aduk dengan meremas-remas bagian luar kain pembungkus tersebut; benda uji dikumpulkan di tengah-tengah kain tersebut setelah diperkirakan seragam;

(5) Benda uji sebanyak 85 ml diisikan ke dalam tabung penakar dan ditekan-tekan kembali dengan telapak tangan, lalu dipadatkan dan diratakan.

6. Cara Pengujian

Dengan menggunakan salah satu alternatif metode pada butir C di atas, maka dilakukan hal-hal sebagai berikut:

- a) Diambil benda uji sebanyak 85 ml, dan dikeringkan dalam oven
- b) pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap kemudian didinginkan pada suhu ruang;
- c) Tabung plastik diisi dengan larutan kerja sampai skala 5;
- d) Benda uji yang sudah dikeringkan dan lolos saringan nomor 4 (4,76 mm) dimasukkan ke dalam tabung plastik, lalu diketuk-ketukan untuk beberapa saat kemudian didiamkan selama 10 menit;
- e) Tabung ditutup dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian dimiringkan sampai hampir mendat dan dikocok dengan salah satu alat pengocok sesuai uraian pada butir 4.
- f) Larutan kerja ditambahkan dengan cara mengalirkan larutan melalui pipa pengalir, mulai dari bagian bawah pasir bergerak ke atas, sehingga lumpur yang terdapat di bawah permukaan pasir naik ke atas lapisan pasir; tambahkan larutan kerja sampai skala 15, kemudian biarkan selama $(20 \text{ menit} \pm 15 \text{ detik})$;

- g) Skala pembacaan permukaan koloid (A) dibaca dan dicatat sampai satu angka di belakang koma;
- h) Beban perlahan-lahan dimasukkan sampai permukaan lapisan pasir; baca skala pembacaan pasir (B) yang ditunjukkan oleh keping skala pembacaan pasir dikurangi dengan tinggi tangkai penunjuk (pada umumnya 10 skala), sampai satu angka di belakang koma.

7. Perhitungan

Nilai Setara Pasir (SP) dalam satuan persen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai SP} = \frac{B}{A} \times 100\% \quad (2-17)$$

Dengan:

A = Skala pembacaan permukaan lumpur

B = Skala pembacaan pasir.

2.3.13 Pengujian aspal

Pengujian terhadap aspal meliputi penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala dan titik bakar aspal, daktilitas, tes kehilangan berat aspal dan pemeriksaan berat jenis aspal.

2.3.14 Pemeriksaan penetrasi aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal ini berpedoman pada SNI 06-2456-1991, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah menyeragamkan cara pengujian untuk pengendalian mutu bahan dalam pelaksanaan pembangunan.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengujian ini

A. Penetrometer

- a) Alat penetrometer yang dapat melepas pemegang jarum untuk bergerak secara vertikal tanpa gesekan dan dapat menunjukkan kedalaman masuknya jarum ke dalam benda uji sampai 0,1 mm terdekat;
- b) Berat pemegang jarum 47,5 gram \pm 0,05 gram. Berat total pemegang jarum beserta jarum 50 gram \pm 0,05 gram. Pemegang jarum harus mudah dilepas dari penetrometer untuk keperluan pengecekan berat;
- c) Penetrometer harus dilengkapi dengan *waterpass* untuk memastikan posisi jarum dan pemegang jarum tegak (90°) ke permukaan;
- d) Berat beban 50 gram \pm 0,05 gram dan 100 gram \pm 0,05 gram sehingga dapat digunakan untuk mengukur penetrasi dengan berat total 100 gram atau 200 gram sesuai dengan kondisi pengujian yang diinginkan.

B. Jarum penetrasi

- a) Harus terbuat dari stainless steel dan dari bahan yang kuat, Grade 440-C atau yang setara, HRC 54 sampai 60. Ukuran dan bentuk jarum seperti tertera pada Gambar 1 Lampiran A;
- b) Jarum standar memiliki panjang sekitar 50 mm sedangkan jarum panjang memiliki panjang sekitar 60 mm (2,4 in);
- c) Diameter jarum antara 1,00 mm sampai dengan 1,02 mm;
- d) Ujung jarum berupa kerucut terpancung dengan sudut antara 8,7° dan 9,7°;
- e) Ujung jarum harus terletak satu garis dengan sumbu badan jarum;
- f) Perbedaan total antara ujung jarum dengan permukaan yang lurus tidak boleh melebihi 0,2 mm;
- g) Diameter ujung kerucut terpancung 0,14 mm sampai 0,16 mm dan terpusat terhadap sumbu jarum;
- h) Ujung jarum harus runcing, tajam dan halus;
- i) Panjang bagian jarum standar yang tampak harus antara 40 sampai 45 mm sedangkan untuk jarum panjang antara 50 mm - 55 mm (1,97 – 2,17 in);
- j) Berat jarum harus 2,50 gram \pm 0,05 gram;

k) Jarum penetrasi yang akan digunakan untuk pengujian mutu aspal harus memenuhi kriteria tersebut di atas disertai dengan hasil pengujian dari pihak yang berwenang.

C. Cawan benda uji

Terbuat dari logam atau gelas yang berbentuk silinder dengan dasar yang rata dan berukuran sebagai berikut:

Untuk pengujian penetrasi di bawah 200:

- a) Diameter, mm 55
- b) Tinggi bagian dalam, mm 35

Untuk pengujian penetrasi antara 200 dan 350:

- a) Diameter, mm 55 - 75
- b) Tinggi bagian dalam, mm 45 - 70

Untuk pengujian penetrasi antara 350 dan 500:

- a) Diameter, mm 55
- b) Tinggi bagian dalam, mm 70

D. Bak perendam

Terdiri dari bejana dengan isi tidak kurang dari 10 liter dan dapat mempertahankan temperatur $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ atau temperatur lain dengan ketelitian tidak lebih dari $0,1^{\circ}\text{C}$. Bejana atau bak perendam harus dilengkapi dengan pelat dasar berlubang yang terletak tidak kurang dari 50 mm di atas dasar bejana dan tidak kurang dari 100 mm di bawah permukaan air dalam bejana.

Apabila pengujian dilakukan dalam bak perendam maka harus dilengkapi dengan penahan yang cukup kuat untuk dudukan penetrometer.

Air perendam dapat ditambah garam apabila diinginkan pengujian pada temperatur rendah. Ujung termometer direndam pada batas pelat dasar dalam bak perendam.

Catatan 1 Untuk air perendam dianjurkan menggunakan air suling. Hindari kontaminasi oleh bahan pengaktif permukaan atau bahan kimia lain karena dapat mempengaruhi hasil uji.

E. Transfer dish

Transfer dish harus mempunyai isi tidak kurang dari 350 ml dan cukup tinggi untuk dapat merendam cawan benda uji ukuran besar. *Transfer dish* harus disertai dudukan, antara lain kaki tiga, agar cawan benda uji tidak bergerak selama pengujian.

F. Pengatur waktu

Untuk penetrometer yang dijalankan secara manual dapat digunakan pengukur waktu apa saja seperti *stopwatch* atau pengatur waktu elektrik yang terkalibrasi dan mempunyai skala terkecil 0,1 detik atau kurang dengan kesalahan tertinggi 0,1 detik untuk setiap 60 detik. Untuk penetrometer otomatis kesalahan tidak boleh lebih dari 0,1 detik.

G. Termometer

Termometer digunakan sebagai alat pengukur suhu.

Termometer harus memenuhi persyaratan yaitu :

- a) Termometer harus dikalibrasi dengan maksimum kesalahan skala tidak melebihi $0,1^{\circ}\text{C}$ atau dapat juga digunakan pembagian skala termometer lain yang sama ketelitiannya dan kepekaannya;
- b) Termometer harus sesuai dengan SNI 19-6421-2000 Spesifikasi Standar Termometer.
- c) Termometer yang digunakan untuk bak perendam harus dikalibrasi secara periodik dengan cara sesuai ASTM E77.

3. Benda uji

Benda uji adalah aspal sebanyak 100 gram yang bersih dan bebas dari air serta minyak ringan.

4. Persiapan benda uji

- a) Apabila contoh tidak cukup cair, maka contoh dipanaskan dengan
- b) hati-hati dan diaduk sedapat mungkin untuk menghindari terjadinya pemanasan setempat yang berlebih. Pemanasan ini dilakukan sampai contoh cukup cair untuk dituangkan. Pemanasan contoh tidak boleh lebih dari 90°C di atas titik lelehnya, pemanasan tidak boleh lebih dari 60 menit, lakukan pengadukan untuk menjamin kehomogenan contoh, dan jangan sampai ada gelembung udara dalam contoh;

- c) benda uji aspal dituangkan ke dalam 2 (dua) cawan (*duplo*) benda uji sampai batas ketinggian pada cawan benda uji;
- d) Benda uji didinginkan, tinggi benda uji tidak kurang dari 120% dari kedalaman jarum pada saat pengujian penetrasi. Benda uji dituangkan ke dalam cawan yang terpisah untuk setiap kondisi pengujian yang berbeda. Jika diameter cawan benda uji kurang dari 65 mm dan nilai penetrasi diperkirakan lebih besar dari 200 maka benda uji dituangkan ke dalam empat cawan untuk setiap jenis kondisi pengujian;
- e) Lalu didinginkan pada temperatur antara 15 sampai dengan 30 °c selama 1 sampai dengan 1,5 jam untuk benda uji dalam cawan kecil (55 mm x 35 mm) dan 1,5 jam sampai dengan 2 jam untuk benda uji dalam cawan yang besar, dan benda uji dalam cawan benda uji ditutup agar bebas dari debu;
- f) Benda uji dan *transfer dish* diletakkan dalam bak perendam pada temperatur pengujian selama 1 jam sampai dengan 1,5 jam untuk cawan benda uji kecil (55 mm x 35 mm) dan 1,5 jam sampai dengan 2 jam untuk cawan benda uji besar.

5. Cara pengujian

- a) Pemegang jarum diperiksa agar jarum dapat dipasang dengan baik dan jarum penetrasi dibersihkan dengan *toluene* atau pelarut lain yang sesuai kemudian dikeringkan dengan lap bersih dan dipasangkan pada pemegang jarum. Apabila diperkirakan nilai

penetrasi lebih besar dari 350 disarankan menggunakan jarum penetrasi yang panjang;

- b) Pemberat 50 gram diletakkan pada pemegang jarum untuk memperoleh berat total $10 \text{ gram} \pm 0,1 \text{ gram}$ kecuali disyaratkan berat total yang lain;
- c) Bila pengujian dilakukan penetrometer dalam bak perendam, cawan berisi benda uji langsung diletakkan pada alat penetrometer. Cawan benda uji dijaga agar tertutupi air dalam bak perendam. Apabila pengujian dilakukan di luar bak perendam cawan berisi benda uji diletakkan dalam *transfer dish*, cawan benda uji direndam dengan air dari bak perendam dan diletakkan pada alat penetrometer;
- d) Kerataan posisi alat penetrometer dipastikan dengan memeriksa *waterpass* pada alat;
- e) Jarum diturunkan perlahan-lahan sampai jarum menyentuh permukaan benda uji. Hal ini dilakukan dengan cara menurunkan jarum ke permukaan benda uji sampai ujung jarum bersentuhan dengan bayangan jarum dalam benda uji. Agar bayangan jarum dalam benda uji tampak jelas, digunakan lampu sorot dengan *watt* rendah (5 *watt*) agar tidak mempengaruhi temperatur benda uji. Kemudian diaturlah angka 0 pada arloji penetrometer sehingga jarum penunjuk berada pada posisi angka 0 pada jarum penetrometer;

- f) Pemegang jarum dilepaskan selama waktu yang disyaratkan (5 detik \pm 0,1 detik) atau yang disyaratkan lain. Apabila wadah benda uji bergerak pada saat pengujian maka pengujian dianggap gagal;
- g) Arloji penetrometer diatur (diputar) untuk mengukur nilai penetrasi dan angka penetrasi yang ditunjukkan jarum penunjuk dibaca pada angka 0,1 mm terdekat;
- h) Dilakukan paling sedikit tiga kali pengujian untuk benda uji yang sama, dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak tidak kurang 10 mm dari dinding cawan dan tidak kurang 10 mm dari satu titik pengujian dengan titik pengujian lainnya. Jika digunakan *transfer dish*, benda uji dan *transfer dish* dimasukkan ke dalam bak perendam yang mempunyai temperatur konstan pada setiap selesai satu pengujian benda uji. Digunakan jarum yang bersih untuk setiap kali pengujian. Apabila nilai penetrasi lebih dari 200, digunakan paling sedikit tiga jarum yang setelah digunakan dibiarkan tertancap pada benda uji sampai tiga kali pengujian selesai. Jika diameter cawan benda uji kurang dari 65 mm dan nilai penetrasi diperkirakan lebih dari 200, buat setiap pengujian dari tiga kali pengujian penetrasi dilakukan pada benda uji dalam cawan yang terpisah sebagaimana yang telah disiapkan pada persiapan benda uji butir 3)

2.3.15 Pemeriksaan Daktilitas

Pemeriksaan daktilitas ini berpedoman pada SNI 06-2432-1991, berikut penjelasannya:

1. Tujuan:

Tujuan metode ini adalah untuk mendapatkan harga pengujian daktilitas bahan aspal.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a) Termometer;
- b) Cetakan daktilitas kuningan;
- c) Bak perendam isi 10 liter, yang menjaga suhu tertentu selama pengujian dengan ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$, dan benda uji dapat terendam sekurang-kurangnya 100 mm dibawah permukaan air; bak tersebut dilengkapi dengan pelat dasar berlubang yang diletakkan 50 mm dari dasar bak perendam untuk meletakkan benda uji.
- d) Mesin uji ketentuan sebagai berikut:
- e) Dapat menarik benda uji dengan kecepatan yang tetap;
- f) Dapat menjaga benda uji tetap terendam dan tidak menimbulkan getaran selama pemeriksaan;
- g) Bahan *methyl* alkohol teknik atau *glycerin* teknik.

3. Persiapan Benda Uji

Benda uji adalah contoh aspal sebanyak 100 gram yang dipersiapkan sebagai berikut :

- a) Semua bagian dalam sisi-sisi cetakan daktilitas dan bagian atas pelat dasar dilapisi dengan campuran *glycerin* dan *dextrin* atau *glycerin* dan *talk* atau *glycerin* dan kaolin atau *amalgam*; kemudian dipasang cetakan daktilitas di atas pelat dasar;
- b) Contoh aspal dipanaskan sehingga cair dan dapat dituang; untuk menghindari pemanasan setempat, lakukan dengan hati-hati; pemanasan dilakukan sampai suhu antara 80°C – 100°C di atas titik lembek; kemudian contoh disaring dengan saringan no. 50 dan setelah diaduk, dituang dalam cetakan.
- c) Pada waktu mengisi cetakan, contoh dituang hati-hati dari ujung ke ujung hingga penuh berlebihan;
- d) Cetakan didinginkan pada suhu ruang selama 30 sampai 40 menit lalu dipindahkan seluruhnya ke dalam bak perendam yang telah disiapkan pada suhu pemeriksaan selama 30 menit; kemudian contoh yang berlebihan diratakan dengan pisau atau spatula yang panas sehingga cetakan terisi penuh dan rata.

4. Cara Pengujian

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- a) Benda uji didiamkan pada suhu 25°C dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian dilepaskan dari pelat dasar dan sisi-sisi cetakannya;
- b) Benda uji dipasang pada alat mesin dan ditarik secara teratur dengan kecepatan 50 mm/menit sampai benda uji putus; perbedaan

kecepatan atau kurang dari 5% masih diizinkan; jarak antara pemegang benda uji dibaca, pada saat benda uji putus (dalam sentimeter); selama percobaan berlangsung benda uji harus selalu terendam sekurang-kurangnya 25 mm dalam air dan suhu harus dipertahankan tetap ($25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$);

- c) Apabila benda uji menyentuh dasar mesin uji tau terapung pada permukaan air maka pengujian dianggap tidak normal; untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda uji dengan menambah *methyl* alkohol atau *glycerin*, apabila pemeriksaan normal tidak berhasil setelah dilakukan 3 kali maka dilaporkan bahwa pengujian daktilitas bitumen tersebut gagal.

2.3.16 Pemeriksaan berat jenis aspal

Pemeriksaan berat jenis aspal ini berpedoman pada SNI 06-2441-1991, berikut penjelasannya:

1. Tujuan

Tujuan metode ini adalah untuk menentukan berat jenis aspal padat.

2. Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

- a) Termometer;
- b) Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu dengan ketelitian ($25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$);
- c) Piknometer 30 ml;
- d) Air suling sebanyak 1000 ml;

e) Bejana gelas, kapasitas 1000 ml.

3. Benda Uji

Benda uji adalah contoh aspal padat sebagai ± 100 gram.

4. Cara Pengujian

Urutan cara pengujian ini adalah sebagai berikut :

- a) Bejana diisi dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam 40 mm; kemudian bejana tersebut direndam dan dijepit dalam bak perendam sehingga perendam sekurang-kurangnya 100 mm; suhu bak perendam diatur pada suhu 25°C;
- b) Piknometer dibersihkan, dikeringkan, dan ditimbang dengan ketelitian 1 mg; (A)
- c) Bejana diangkat dari bak perendam dan piknometer diisi dengan air suling kemudian ditutup tanpa ditekan;
- d) Piknometer diletakkan ke dalam bejana dan ditekan penutupnya sehingga rapat; lalu bejana berisi piknometer dikembalikan ke dalam bak perendam; bejana tersebut didiamkan di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian diangkat dan dikeringkan dengan lap; lalu piknometer ditimbang dengan ketelitian 1 mg; (B)
- e) Contoh bitumen keras dipanaskan sejumlah 100 gram, sampai menjadi cair dan diaduk untuk mencegah pemanasan setempat;

pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit pada suhu 111°C di atas titik leleh aspal;

- f) Benda uji tersebut dituangkan ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian;
- g) Piknometer dibiarkan sampai dingin, selama tidak kurang dari 40 menit dan ditimbang dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg;
- h) Piknometer yang berisi benda uji diisi dengan air suling dan ditutup tanpa ditekan, didiamkan agar gelembung-gelembung udara keluar;
- i) Bejana diangkat dari bak perendam dan piknometer diletakkan di dalamnya dan kemudian ditekan penutupnya hingga rapat; bejana dimasukkan dan didiamkan ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit; piknometer lalu diangkat, dikeringkan, dan ditimbang.

5. Perhitungan

Berat jenis dihitung dengan rumus :

$$\delta = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (2-18)$$

Dengan :

δ = berat jenis aspal

A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat piknometer berisi asal dan air (gram)

2.3.17 Pengujian abu batu

Pada penelitian ini yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat adalah abu batu jenis abu terbang dengan pengujian yang telah dibatasi yaitu pengujian berat jenis dan pengujian temperatur lembek.

2.3.18 Pemeriksaan berat jenis abu batu

Pemeriksaan berat jenis abu batu menggunakan metode yang sama dengan pemeriksaan berat jenis agregat kasar. Namun apabila jenis abu batu yang digunakan tidak dapat tenggelam di air, penggunaan air suling dapat diganti dengan kerosin (minyak tanah). Berat jenis kerosin = 0,7-0,83 gr/cm³.

Atau dapat juga dilakukan pengujian menggunakan piknometer, sebagai berikut:

1. Peralatan:

- Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- Air suling.
- Cawan, kuas, alat tulis, alat hitung.
- Timbangan dan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang.
- Alat pemisah sampel dan Saringan.

2. Benda uji:

Benda uji adalah cacahan abu batu dengan ukuran $\leq 4,75$ mm yang berasal dari pabrik semen dan mesin pemecah batu, dan lain-lain.

3. Prosedur:

Abu batu dengan ukuran $\leq 4,75$ mm disiapkan sebanyak 500 gram

(menyesuaikan). Dicuci untuk menghilangkan debu lalu di keringkan

- Bersihkan, keringkan, dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg;
- Piknometer diisi dengan air suling hingga penuh, dikeringkan bagian luar piknometer dengan lap; lalu ditimbang dengan ketelitian 1 mg;
- Benda uji dimasukkan ke dalam piknometer yang telah dibuang airnya (kosong) hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian; lalu ditimbang dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg;
- Piknometer yang berisi benda uji diisi dengan air suling dan ditutup tanpa ditekan, lalu di diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar; kemudian ditimbang.

4. Perhitungan

Berat jenis dihitung dengan rumus :

Berat jenis abu batu

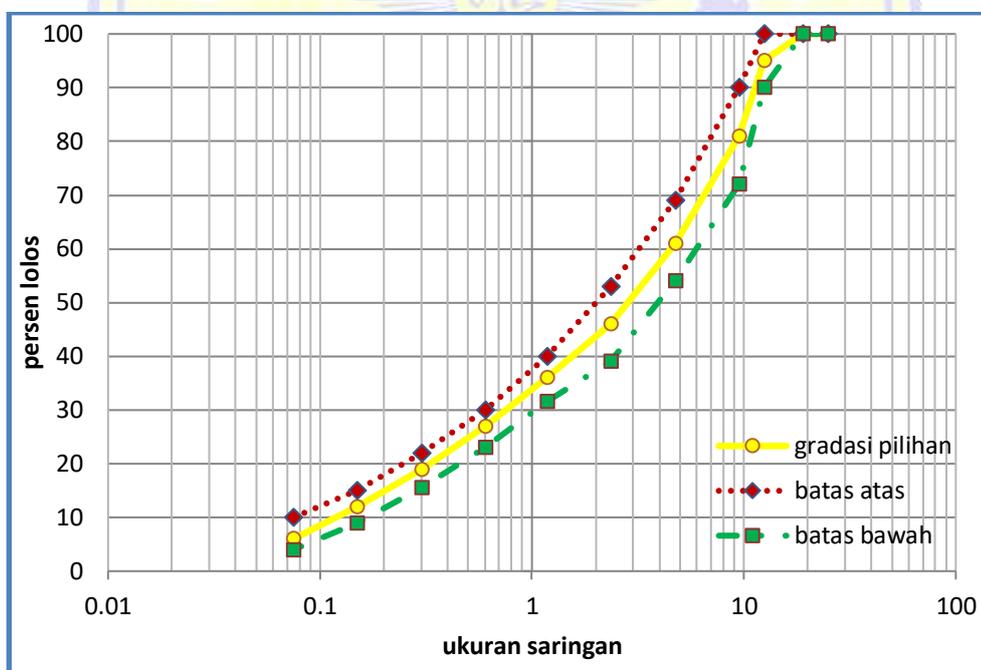
$$\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (2-19).$$

2.3.19 Penentuan Gradasi Pilihan

Pada penelitian ini agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar (tertahan saringan no. 8), agregat halus (lolos saringan no. 8, tertahan saringan no. 200) dan *filler* (lolos saringan no. 200). Ketiga fraksi agregat tersebut diproporsikan sesuai dengan spesifikasi campuran agregat

aspal beton (AC-WC). Cara pencampuran agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cara proporsional, dengan cara ini gradasi agregat gabungan direncanakan sesuai dengan gradasi campuran untuk (AC-WC). Metode memproporsikan agregat yang dipakai adalah tanpa *blending*, tapi diproporsikan berdasarkan titik tengah spesifikasi agregat campuran.

Jika gradasi komposisi gabungan pada garis warna kuning (gradasi pilihan) melewati salah satu garis, yang dimana garis warna merah adalah batas atas dan warna hijau adalah batas bawah maka gradasi pilihan tersebut tidak memenuhi syarat spesifikasi yang disyaratkan. Dan akan mengakibatkan terjadinya *blending* jika melewati batas atas dan *crack* jika melewati batas bawah. Pada penelitian ini gradasi campuran agregat yang akan digunakan, direncanakan seperti pada Gambar 2.1 berikut:



Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga 2010

Gambar 2.3 Grafik Gradasi Pilihan Rencana

2.3.20 Proporsi dan kebutuhan material

Berdasarkan gradasi pilihan rencana campuran agregat diatas, yang mengacu pada spesifikasi gradasi agregat untuk campuran laston (AC-WC) yang tertera pada Tabel 2.5, maka proporsi rencana campuran agregat yang digunakan adalah seperti pada Tabel 2.13 berikut:

Tabel 2.13 Proporsi Rencana Campuran Agregat AC-WC

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	% Berat agregat yang lolos			% tertahan
		Batas Atas	Batas Bawah	Batas Tengah (Gradasi Pilihan)	
1"	25,4	100	100	100	-
3/4"	19	100	100	100	-
1/2"	12,5	100	90	95	5
3/8"	9,5	90	72	81	14
No. 4	4,75	69	54	61	19,5
No. 8	2,36	53	39,1	46	15,45
No. 16	1,18	40	31,6	36	10,25
No. 30	0,6	30	23,1	27	9,25
No. 50	0,3	22	15,5	19	7,8
No. 100	0,15	15	9	12	6,75
No. 200	0,075	10	4	6	5
<i>Filler</i>					7
Jumlah					100

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga

Proporsi agregat yang didapat dalam gradasi pilihan tersebut adalah agregat kasar sebanyak 53,95%, agregat halus sebanyak 39,05% dan *filler* sebanyak 7%. Ketiga proporsi agregat tersebut yang nantinya akan digunakan dalam penelitian ini.

Nilai variasi kadar aspal rencana dalam campuran diperoleh berdasarkan persentase penggunaan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dengan menggunakan Persamaan 2-20 Berdasarkan Tabel 4.8, maka

didapat kadar aspal rencana sebesar 5,9% (dibulatkan 6%) dari berat total campuran.

Untuk perhitungan volumetrik campuran, proporsi agregat perlu di konversi dari berdasarkan berat total agregat menjadi berdasarkan berat total campuran, dengan prinsip seperti diperlihatkan pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Konversi Proporsi Material

Material	% terhadap berat total agregat	Faktor pengali	% terhadap berat total campuran
1	2	$3=(100-d)/100$	$4=(2*3)$
Agregat kasar (a)	53,95	0.94	50,71
Agregat halus (b)	39,05	0.94	36,71
Filler (c)	7	0.94	6,58
Kadar aspal rencana (d)	-	-	6
Total	100		100

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga

Prosentase terhadap berat total campuran akan berubah sesuai dengan variasi prosentase kadar aspalnya, misalnya: 5; 5,5; 6; 6,5; 7 % terhadap berat total campuran. Contoh pada Tabel 2.14 diatas didasarkan atas prosentase kadar aspal awal 6%, dengan jumlah agregat 94%.

Maka berat aspal yang diperlukan untuk satu sampel adalah:

$$(5,5/94,00) \times 1200\text{gr} = 63,83\text{gr}$$

$$\text{Berat total campuran menjadi} = 1200\text{gr} + 63,83 = 1263,83$$

Perincian kebutuhan material secara praktis dapat di lihat pada tabel 2.15 sebagai berikut:

Tabel 2.15 Kebutuhan Material untuk 1, 2, dan 3 buah sampel

Material	Ayakan (mm)	Proporsi (%)	1 sampel (gram)	2 sampel (gram)	3 sampel (gram)
Agregat Kasar	12,5	5	60	120	180
	9,5	14	168	336	504
	4,75	19,5	234	468	702
	2,36	15,45	185,4	370,8	556,2
Agregat Halus	1,18-0,075	39,05	468,6	937,2	1405,8
Filler	lolos 0,075	7	84	168	252
	Total	100%	1200gr	2400gr	3600gr
Kebutuhan Aspal					
5%	5/ (100-5) x berat agg		63.16	126.32	189.48
5,5%	5,5/ (100-5,5) x berat agg		69.84	139.68	209.52
6%	6/ (100-6) x berat agg		76.60	153.19	229.79
6,5%	6,5/ (100-6,5) x berat agg		83.42	166.84	250.27
7%	7/ (100-7) x berat agg		90.32	180.64	270.96

Sumber : Jendral Bina Marga

2.3.21 Metode pengujian campuran aspal panas

1. Campuran Beraspal Panas

Jenis campuran beraspal panas yang ada pada spesifikasi umum

Bina Marga adalah :

- a. Laston (lapis beton aspal) atau AC (*Asphalt Concrete*)
- b. Lataston (lapis tipis beton aspal) atau HRS (*Hot Rolled Sheet*)
- c. Latasir (lapis tipis aspal pasir) atau HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*)

Laston dapat dibedakan menjadi dua tergantung fungsinya pada konstruksi perkerasan jalan, yaitu untuk : lapis permukaan atau lapis aus (*AC-wearing course*) dan lapis permukaan antara (*AC-binder*) dan lapis pondasi beraspal (*AC-base*).

Lataston juga dapat digunakan sebagai lapis aus (*HRS-wearing*) dan lapis pondasi, (*HRS-base*), sedangkan Latasir digunakan untuk lalu lintas ringan.

Perencanaan pekerjaan campuran beraspal panas yang mencakup pembuatan rancangan campuran, bertujuan untuk mendapatkan resep campuran dari bahan yang terdapat disuatu lokasi sehingga dihasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran yang ditetapkan.

2. Pengujian campuran beraspal panas

Pengujian laboratorium terhadap sifat-sifat fisik campuran yang digunakan sebagai bahan olahan dan bahan jadi/ terpasang, meliputi :

- a. Daya tahan dan perubahan bentuk campuran, yaitu dengan melakukan uji Marshall (stabilitas dan kelelahan/*flow*)
- b. Rongga terisi aspal, rongga dalam agregat (VMA), rongga udara dalam campuran (VIM), berat isi atau berat jenis, yaitu dengan melakukan pengujian volumetrik untuk mengevaluasi parameter diatas serta untuk keperluan pengendalian mutu, jenis pengujian yang dilakukan mencakup:

1. Pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall
2. Pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall Modifikasi
3. Pengujian kepadatan (mutlak) campuran beraspal
4. Pengujian berat jenis maksimum campuran beraspal

5. Pengujian berat jenis nyata campuran beraspal dipadatkan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh
 6. Pengujian ekstraksi kadar aspal campuran beraspal menggunakan tabung *Refluks Gelas*
 7. Pengujian ekstraksi kadar aspal campuran beraspal cara ekstraksi menggunakan *Soklet*
 8. Pengujian ekstrak kadar aspal campuran beraspal dengan cara *Sentrifus*
 9. Pengujian pemulihan aspal dengan alat penguap berputar (*Retavator = Rotary Vacuum Evaporatur*)
3. Pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall
- Terdapat dua cara pengujian campuran beraspal dengan alat Marshall, yaitu :
- a. Cara uji campuran beraspal panas dengan alat Marshall;
 - b. Pengujian campuran beraspal dengan alat Marshall Modifikasi;
(cara uji campuran beraspal panas untuk ukuran agregat maksimum dari 25,4 mm (1 inci) sampai dengan 38 mm (1,5 inci) dengan alat Marshall)

Dalam spesifikasi pekerjaan jalan yang berlaku di Indonesia memuat adanya campuran beraspal panas yang menggunakan ukuran agregat maksimum 25,4 mm (1 inci), diuji dengan metode Marshall yang biasanya dilakukan untuk campuran beraspal panas disebut cara uji Marshall standar atau konvensional.

Sedangkan untuk campuran yang menggunakan ukuran agregat maksimum yang lebih dari 25,4 mm, dilakukan modifikasi terhadap cara uji Marshall konvensional tersebut, yang kemudian disebut sebagai cara uji Marshall Modifikasi.

Prosedur Marshall yang dimodifikasi pada dasarnya sama dengan metode Marshall standar, namun karena campuran beraspal menggunakan ukuran butir maksimum yang lebih besar maka digunakan diameter benda uji yang lebih besar pula, yaitu 15,24 cm (6 inci) dan tinggi 95,2 mm. Berat palu penumbuk 10,2 kg (22 lbs) dengan tinggi jatuh 457 mm (18 inci), dengan jumlah tumbukan 112 kali. Benda uji secara tipikal mempunyai berat sekitar 4 kg.

A. Cara uji campuran beraspal panas dengan alat marshall

Alat dan prosedur pengujian mengacu pada RSNI M-01-2003 atau ASTM D6927-06

1. Maksud, tujuan, dan lingkup

- a. Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam menguji campuran beraspal dengan menggunakan alat Marshall
- b. Tujuan pengujian untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow*, yang digunakan untuk perencanaan campuran beraspal, dengan ukuran agregat maksimum 25 mm (1 inci). Stabilitas, adalah kemampuan suatu campuran beraspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) pada temperature tertentu yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*), adalah keadaan perubahan

bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat beban yang diberikan selama pengujian, dinyatakan dalam mm. Metode Marshall standar diperuntukkan untuk perencanaan campuran beton aspal dengan ukuran agregat maksimum 25,4 mm (1 inci) dan menggunakan aspal keras.

1. Mencakup cara persiapan benda uji, peralatan, dan cara pengujian campuran beraspal dengan alat marshall dengan ukuran agregat maksimum 25,4 mm (1 inci)

2. Peralatan

- a. Minimum tiga buah cetakan benda uji diameter 101,6 mm (4 in), tinggi 76,2 mm (3 in) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung
- b. Mesin penumbuk manual atau otomatis
 1. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4.536 gram \pm 9 gram dan tinggi jatuh bebas 457.2 mm \pm 15.24 mm (18 inchi \pm 16 in).
 2. Landasan pemadatan terdiri atas balok kayu yang mempunyai berat isi 0.67-0.77 kg/cm³ (kondisi kering) dengan ukuran 203.2 x 203.2 x 457.2 mm (8 x 8 x 18 in) dilapisi plat baja berukuran 304.8 x 304.8 x 25.4 mm (12 x 12 x 1 in) yang di jangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
3. Pemegangan cetakan benda uji.

- c. Alat pengeluaran benda uji, untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan, digunakan alat pengeluar benda uji (*extruder*) dengan diameter 100 mm (3.95 in)
- d. Alat marshall
1. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, dengan jari-jari bagian dalam 50.8 mm (2 in);
 2. Dongkrak pembebanan (*loading jack*) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal 50.8 mm/ menit (2 in/ menit);
 3. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0.0025 mm (0.001 in);
 4. Arloji pengukur pelelehan dengan ketelitian 0.25 mm (0.1 in) beserta perlengkapannya.
- e. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai $200^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
- f. Penangas air (*water bath*), dengan kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang dapat memelihara temperatur penangas air pada $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
- g. Termometer gelas, untuk mengukur temperatur air dalam penangas dengan sensitivitas sampai $0,2^{\circ}\text{C}$;
- h. Termometer logam, berkapasitas 10°C sampai 204°C dengan ketelitian $2,8^{\circ}\text{C}$;

- i. Timbangan, yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram;
- j. Perlengkapan lain
 1. Wadah untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran beraspal;
 2. Sendok pengaduk dan spatula;
 3. Kompor atau pemanas (*hot plate*)
 4. Sarung tangan dari asbes, karet serta pelindung pernapasan (masker)
3. Pembuatan/ penyiapan benda uji dan persiapan peralatan
 - A. Pembuatan/ penyiapan benda uji
 1. Keringkan masing-masing fraksi agregat pada temperatur 105°C - 110°C sekurang kurangnya selama 4 jam didalam oven;
 2. Keluarkan fraksi agregat dari oven dan tunggu sampai beratnya tetap
 3. Pisah-pisahkan fraksi-fraksi agregat dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan, untuk memperoleh gradasi agregat campuran rencana yang dikehendaki. Penentuan proporsi setiap fraksi agregat dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu cara analitis dan cara grafis, baik untuk 2 fraksi, 3 fraksi atau lebih. Contoh penentuan proporsi 3 fraksi agregat dengan cara grafis untuk AC WC gradasi kasar. Sesuai proporsi setiap fraksi agregat tersebut,

selanjutnya lakukan penggabungan gregat, yaitu diperoleh gradasi agregat campuran rencana AC WC gradasi kasar. Berdasarkan kepada gambar grafik gradasi agregat campuran rencana, hitung perkiraan kadar aspal optimum dengan menggunakan rumus sbb:

$$P_b = 0.035 (\% A) + 0.045 (\% B) + 0.18 (\% C) + K \quad (2-20)$$

Dengan:

P_b = kadar aspal optimum perkiraan

A = Persentase agregat tertahan saringan No 8

B = presentase agregat lolos saringan No 8 dan tertahan No 200

C = presentase agregat lolos saringan No 200

K = Konstanta kira-kira 0,5-1,0 untuk laston dan 1,0-2,0 untuk lataston

Hasilnya dibulatkan kepada 0,5 % terdekat

Bilamana nilai K diambil = 1 maka diperoleh $P_b = 5,728 \% \sim 5,5 \%$

4. Lakukan pengujian kekentalan (*viskositas*) aspal untuk memperoleh temperatur pencampuran dan pemadatan;
5. Panaskan aspal sampai mencapai kekentalan (*viskositas*) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan seperti diperlihatkan pada tabel 2.16 berikut.

Tabel 2.16 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan

Alat uji	Kekentalan untuk		Satuan
	Pencampuran	Pemadatan	
Viscosimeter Kinematik	170 ± 20	280 ± 30	Centistokes
Viscosimeter Saybolt Furol Atau Tifikal	85 ± 10	140 ± 15	Detik Saybolt Furol
	Temperatur untuk		
	Pencampuran	pemadatan	
Aspal tipe I (Pen 60-70)	155 - 145	145 - 95	°C
Aspal tipe II	165 - 155	155 - 105	°C

Sumber: spesifikasi seksi 6.3 campuran beraspal panas, desember 2010- Rev 2

6. Panaskan agregat pada temperatur 28°C diatas temperatur pencampuran sekurang-kurangnya 4 jam di dalam oven

7. Pencampuran benda uji

a. Usahakan tinggi benda uji yang dihasilkan adalah 63,5 mm ± 1,27 mm, sehingga tidak memerlukan koreksi

Caranya dengan mencoba membuat campuran dengan berat agregat 1200 gram pada kadar aspal sekitar optimum. Ukur tingginya (misal A mm), kemudian hitung berat agregat yang harus ditimbang bila ingin menghasilkan benda uji sesuai rencana dengan rumus sebagai berikut:

$$Bd = 63,5/A \times 1200 \text{ gram} \quad (2-21)$$

Dengan :

Bd = Berat benda uji yang dioerlukan untuk tinggi benda uji

yang diperoleh 63,5 mm ± 1,27 mm, dalam gram

A = Tinggi benda uji dengan berat percobaan (misal 1200 gram) dalam mm

- b. Siapkan benda uji dengan berat agregat campuran sesuai hasil percobaan diatas, yaitu yang menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$, misal 1180 gram;
 - c. Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C diatas temperatur pencampuran aspal keras;
 - d. Masukkan agregat yang telah dipanaskan kedalam wadah pencampur;
 - e. Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan seperti pada tabel 3.14 Sebanyak yang dibutuhkan kedalam agregat yang sudah dipanaskan;
 - f. Kemudian aduk dengan cepat sampai agregat terselimuti aspal secara merata;
Untuk pemadatan dengan cara otomatis, pemasukan campuran kedalam cetakan dilakukan diluar alat pemadat otomatis, sedangkan untuk pemadatan dengan cara manual langsung dilakukan pada alat pemadat;
8. Pemadatan benda uji
- a. Pemadatan dengan menggunakan alat pemadat manual
 - 1) Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai temperatur antara 90°C - 150°C
 - 2) Letakkan cetakan diatas landasan pemadat dan ditahan dengan pemegang cetakan;

- 3) Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan;
 - 4) Masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali disekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagia tengahnya;
 - 5) Letakkan kertas saring atau kertas penghisap diatas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan;
 - 6) Padatkan campuran dengan temperatur yang digunakan dengan kekentalan aspal sesuai tabel 14 dengan jumlah tumbukan sesuai spesifikasi;
- b. Pemadatan dengan menggunakan alat pemadat otomatis
- 1) Siapkan cetakan berisi campuran
 - 2) Letakkan cetakan pada landasan, kemudian lepaskan pengunci dan turunkan penumbuk sampai ke permukaan campuran dalam cetakan
 - 3) Tutup pintu alat penumbuk
 - 4) Atur jumlah tumbukan dan teka start untuk memulai penumbukan
 - 5) Penumbukan akan berhenti secara otomatis sesuai jumlah yang ditentukan
9. Untuk pengujian kepadatan mutlak campuran beraspal untuk lalu lintas berat dilakukan pemadatan sebanyak 400 kali tumbukan pada

setiap sisinya (cara pengujian tersendiri, lihat ”pengujian kepadatan mutlak campuran beraspal”);

10. Pelat atas berikut leher sambungan dilepas dari cetakan benda uji, kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pasang kembali pelat alas berikut leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi;

11. Permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tadi ditumbuk dengan jumlah tumbukan yang sama sesuai dengan point (6);

- a. Lepas leher sambungan dan pelat alas, kemudian cetakan dibalik
- b. Letakkan cetakan dan pasang leher sambung serta dikunci
- c. Lakukan penumbukan kembali dengan jumlah tumbukan yang sama

12. Setelah selesai pemadatan campuran benda uji dibiarkan sampai dingin, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar (*extruder*) pada permukaan ujung benda uji tersebut dan keluarkan;

- a. Setelah selesai, lepaskan pengunci, leher sambung dan ambil cetakan
- b. Untuk mengeluarkan benda uji gunakan alat pengeluar
- c. Letakkan cetakan diatas dongkrak pada alat pengeluar
- d. Pasang pelat penahan alat pengeluar
- e. Lakukan pengeluaran benda uji
- f. Setelah selesai, ambil benda uji

13. Kemudian letakkan benda uji diatas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang dan seterusnya dibuat sebanyak 15 benda uji dengan 5 variasi kadar aspal, yaitu 2 kadar aspal diatas dan 2 kadar aspal dibawah kadar aspal optimum perkiraan (Pb) seperti telah diuraikan pada butir c.1.3 (contoh Pb = 5,5%). Jadi variasi kadar aspalnya 4,5 % ; 5,0 % ; 5,5 % ; 6 % ; 6,5 % ; yang masing-masing dibuat 3 buah;

14. Bila diperlukan untuk mendinginkan benda uji, dapat digunakan kipas angin;

- a. Kemudian letakkan benda uji di atas permukaan yang rata
- b. Beri tanda pengenal pada benda uji
- c. Diamkan benda uji selama ± 24 jam pada temperatur ruang

B. Pengukuran dan penimbangan

Lakukan pemeriksaan berat isinya sekaligus sebagai persiapan pengujian

- 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel;
- 2) Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm (0,004 in);
- 3) Timbang benda uji;
- 4) Timbang benda uji di dalam air dan pembacaannya dilakukan setelah 3-5 menit;
- 5) Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh

C. Persiapan peralatan

- 1) Siapkan peralatan yang akan digunakan sesuai dengan petunjuk pemakaian.

D. Prosedur/ pelaksanaan pengujian

1. Cara pengujian

Lama waktu yang diperlukan dari angkatannya benda uji dari penangas air sampai tercapainya beban maksimum saat pengujian tidak boleh > 30 detik.

- a. Rendam benda uji dalam penangas air selama 30 – 40 menit dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
- b. Kemudian keluarkan benda uji dari penangas air dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji marshall;
- c. Khusus untuk mengetahui indeks perendaman (untuk mendapatkan stabilitas sisa), benda uji direndam dalam penangas air selama 24 jam dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;

Dimana pembuatan dan pembuatan dan pengujian benda uji untuk maksud tersebut pada prinsipnya sama, bedanya adalah jumlah benda uji dibuat secara terpisah 6 buah pada kadar aspal optimum (yang diambil hasil dari pengujian standar, setelah didapatkan grafik penentuan kadar aspal optimum) dan direndam dalam penangas air selama 24 jam pada temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Dengan langkah urutan sebagai berikut :

- 1) Benda uji dibuat 6 buah pada kadar aspal optimum
 - 2) Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm
 - 3) Timbang benda uji dengan ketelitian 0,1 mm
 - 4) Timbang benda uji dalam air untuk mendapatkan isi dari benda uji
 - 5) Timbang benda uji dalam air
 - 6) Rendam benda uji dalam penangas air selama 24 jam dengan temperatur $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- d. Kemudian pasang bagian atas alat penekan (kepala penekan) uji marshall diatas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji marshall;
 - e. Pasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan;
 - f. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji;
 - g. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol;
 - h. Jalankan mesin, berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm (2 in) per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, seperti yang ditunjukkan oleh

jarum arloji tekan, catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai;

- i. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan saat pembebanan maksimum tercapai;

2. Perhitungan

Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan rumus-rumus persamaan 2-22 sampai dengan persamaan 2-24 sebagai berikut :

- a. Kadar aspal total

$$= \frac{\text{Berat Aspal}}{\text{Berat total campuran}} \times 100 \% \quad (2-22)$$

- b. Kepadatan (ton/m³)

$$= \frac{\text{Berat benda uji}}{\text{Volume benda uji}} \times 100 \% \quad (2-23)$$

- c. Berat jenis maksimum campuran beraspal (Gmm), Gmm diuji dengan metode AASHTO T 209-1990 (SNI 03-6893-2002)

- d. Berat Jenis efektif agregat :

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} + \frac{Pb}{Gb}} \quad (2-24)$$

Dengan :

Gse = berat jenis efektif agregat

Gmm = berat jenis maksimum campuran

(AASHTO T 209 atau SNI 03-6893-2002)

Pmm = persen berat terhadap total campuran (=100)

Pb = kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran

G_b = berat jenis aspal

- e. Berat jenis maksimum campuran dengan kadar aspal campuran yang berbeda :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2-25)$$

Dengan:

G_{se} = berat jenis efektif agregat

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran

G_b = berat jenis aspal

P_{mm} = persen berat terhadap total campuran (=100)

P_s = peren agregat terhadap total campuran

P_b = kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran

- f. Berat jenis curah :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2-26)$$

Dengan :

G_{sb} = berat jenis agregat curah

G_1, G_2, G_n = berat jenis masing-masing fraksi agregat

P_1, P_2, P_n = persentase masing-masing fraksi agregat

- g. Penyerapan aspal

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \quad (2-27)$$

Dengan :

P_{ba} = penyerapan aspal

G_{se} = berat jenis efektif agregat

G_{sb} = berat jenis agregat curah

G_b = Berat jenis aspal

h. Kadar aspal efektif

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \quad (2-28)$$

Dengan:

P_{be} = kadar aspal efektif, persen terhadap berat total campuran

P_s = persen agregat terhadap total campuran

P_b = kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran

P_{ba} = penyerapan aspal

i. Rongga diantara mineral agregat :

$$VMA = 100 \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (2-29)$$

Dengan :

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

G_{sb} = berat jenis agregat curah

G_{mb} = berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

P_s = persen agregat terhadap total campuran

P_b = kadar aspal total, persen terhadap berat total

Campuran

j. Rongga didalam campuran

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (2.30)$$

Dengan :

VIM = rongga didalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmm = berat jenis maksimum campuran

Gmb = berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

k. Rongga terisi aspal :

$$VFB = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.31)$$

Dengan :

VFB = rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

VIM = rongga didalam campuran, persen terhadap volume total campuran

l. Stabilitas (kg)

Pembacaan pada arloji tekan dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin penguji.

m. Pelelehan/ *Flow* (mm)

Pembacaan pada arloji pengukur pelelehan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium PT. Kresna Karya yang berlokasi di *Base Camp* Pringgabaya Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian ini mencakup persiapan, pelaksanaan dan analisa data. Persiapan dimulai dengan dilakukan studi literatur terlebih dahulu dengan mengumpulkan referensi berupa buku atau jurnal yang berhubungan dengan judul dari penelitian ini, kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat yang sudah tersedia dilaboratorium serta pengadaan material yang didapatkan dari laboratorium berupa aspal penetrasi 60/70 dan agregat didapat dari PT. Kresna Karya Lombok Timur.

3.3 Bahan Penelitian

Sumber dan bahan yang dimanfaatkan penelitian terlebih dahulu diuji kelayakannya agar dapat menghasilkan ketelitian maksimum sesuai yang diharapkan. Adapun pemeriksaan awal yang dilakukan antara lain test fisik aspal, gradasi, berat jenis, kadar lumpur, *indeks* kepipihan dan lain-lain.

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian milik Balai PT.kresna Karya yang sudah dikalibrasi secara periodik sehingga keakuratan dan ketelitian alat dapat dipertanggung jawabkan.

3.5 Parameter Penelitian

3.5.1 Kadar aspal

Pada penelitian ini variasi kadar aspal yang digunakan sesuai dengan perhitungan kadar aspal Pb yaitu masing-masing 2 kadar aspal dibawah Pb dan 2 kadar aspal diatas Pb.

3.5.2 Gradasi agregat

Pada penelitian ini kombinasi yang digunakan adalah :

- a. Kombinasi I : dimana kombinasi yang dibuat mendekati batas atas titik kontrol gradasi atau diatas kurva Fuller
- b. Kombinasi II : dimana kombinasi yang dibuat mendekati batas bawah titik kontrol gradasi atau dibawah kurva Fuller

Metode penggabungan yang dipakai adalah penggabungan agregat dengan cara Analitis yang menggabungkan 3 fraksi agregat, mengingat mesin produksi *Hotmix* (AMP) milik PT. Kresna Karya memakai sistem menerus (*continue*) dengan 3 (tiga) bukaan (bin).

3.6 Metode Penelitian

Prosedur pengujian didasarkan pada ASTM D 1559, yaitu Metode Marshall Standar yang diperuntukkan pada perencanaan campuran aspal dengan ukuran agregat 25 mm (1 inci) atau 19 mm ($\frac{3}{4}$ inci) dan menggunakan aspal

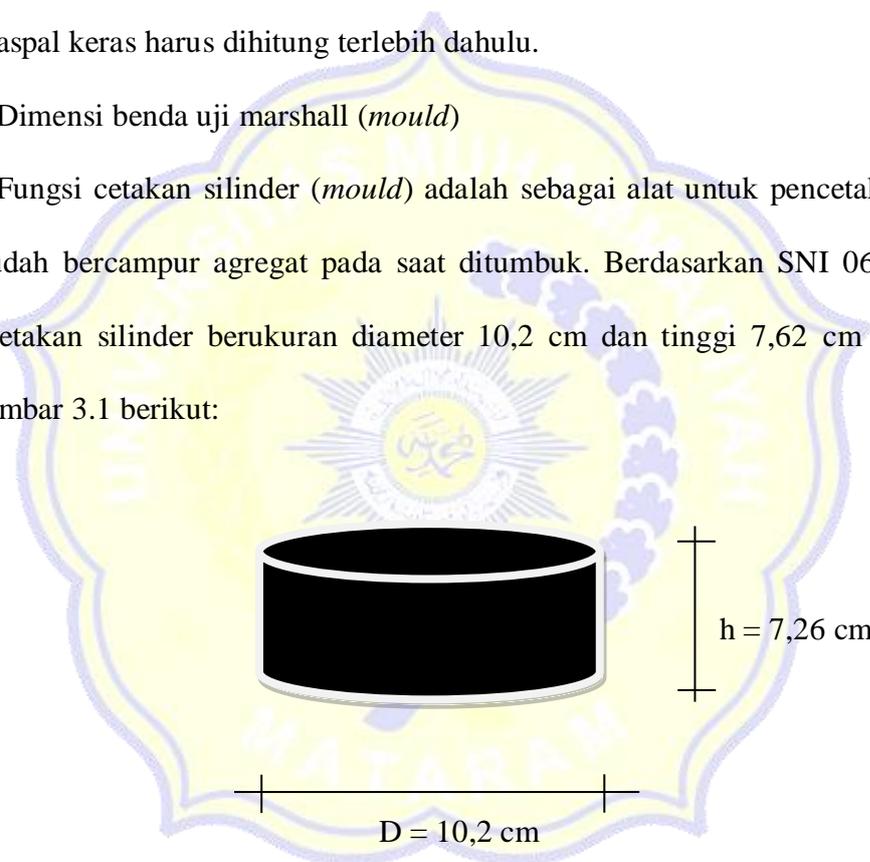
keras. Prosedur kerja pengujian Marshall dimulai dengan persiapan benda uji.

Untuk keperluan ini perlu diperhatikan hal sebagai berikut :

- a. Bahan yang digunakan masuk spesifikasi
- b. Kombinasi agregat memenuhi gradasi yang diisyaratkan
- c. Untuk keperluan analisa volumetrik (*density-voids*), berat jenis *bulk* dari semua agregat yang digunakan pada kombinasi agregat, dan berat jenis aspal keras harus dihitung terlebih dahulu.

3.6.1 Dimensi benda uji marshall (*mould*)

Fungsi cetakan silinder (*mould*) adalah sebagai alat untuk pencetak aspal yang sudah bercampur agregat pada saat ditumbuk. Berdasarkan SNI 06-2489-1991, cetakan silinder berukuran diameter 10,2 cm dan tinggi 7,62 cm seperti pada gambar 3.1 berikut:



Sumber : Pustran-Balitbang PU, 2002

Gambar 3.1 Dimensi Benda Uji Marshall (Mould)

3.6.2 Jumlah benda uji marshall yang dibuat

Pada penentuan kadar aspal optimum untuk suatu kombinasi agregat atau gradasi tertentu dalam pengujian marshall, perlu dipersiapkan suatu seri contoh uji dengan interval kadar aspal yang berbeda sehingga didapatkan suatu kurva

lengkung yang teratur. Pengujian agar direncanakan dengan dasar 0,5 % kenaikan kadar aspal dengan perkiraan minimum dua kadar aspal diatas optimum dan dua kadar aspal dibawah optimum. Pada penelitian ini dilakukan 2 (dua) jenis komposisi dengan mengaju pada grafik gradasi sebagai berikut :

1. Grafik gradasi campuran diatas kurva *Fuller* yaitu : Kombinasi I
2. Grafik gradasi campuran dibawah kurva *Fuller* yaitu : Kombinasi II

pada campuran gradasi kombinasi I ini keadaan campurannya dibuat cenderung mengarah halus sehingga pemakaian aspal harus lebih banyak.

Sedangkan campuran gradasi pada kombinaii II keadaan campurannya cenderung mengarah kasar, oleh karena itu pemakaian aspal nya lebih sedikit dibandingkan dengan kombinasi I.

Adapun jumlah benda uji yang akan dibuat adalah seperti pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 jumlah benda uji yang dibuat

campuran	Kadar aspal (%)					Jumlah benda uji
	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	
Kombinasi I	3	3	3	3	3	15
campuran	Kadar aspal (%)					Jumlah benda uji
	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	
Kombinasi II	3	3	3	3	3	15
Total benda uji yang dibuat						54

Sumber : Sukirman 2003, beton aspal campuran panas

3.6.3 Jumlah tumbukan masing-masing benda uji marshall

Pemadatan benda uji marshall untuk campuran aspal panas berdasarkan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh perkerasan ini. Jumlah tumbukan pada masing-masing sisi benda uji dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini :

Tabel 3.2 Jumlah tumbukan untuk masing masing benda uji

Beban Lalu Lintas	Jumlah lintasan sumbu standar 18000 pon (ESA)	Jumlah tumbukan masing masing sisi benda uji
Ringan	$<10^4$	35
Sedang	$10^4 - 10^6$	50
Berat	$>10^6$	75 (dipilih)

Sumber : sukirman 2003, Beton aspal campuran panas

3.6.4 Tata cara pembuatan benda uji marshall

Secara garis besar penyiapan benda uji dan pengujian sebagai berikut :

- Jumlah benda uji, minimum tiga buah untuk masing masing kombinasi agregat dan aspal atau masing masing variasi jumlah tumbukan
- Oven dalam kaleng (loyang) agregat yang sudah terukur gradasi dan sifat mutu lainnya, sampai temperatur yang diinginkan $\pm 150^{\circ}\text{C}$.
- Panaskan aspal terpisah sesuai panas yang diinginkan pula
- Cetakan (*mould*) dimasukkan dalam oven yang mempunyai temperatur 93°C .
- Campur agregat dan aspal sampai merata diatas permanen (*hot Plate*) dengan temperatur $\pm 135^{\circ}\text{C}$.
- Keluarkan dari oven cetakan dan siapkan untuk pengisian campuran, setelah campuran dimasukkan kedalam cetakan tusuk tusuk dengan spatula 10 x bagian tengah 15 x bagian tepi.

- Tumbukkan 2 x 75 x untuk uji marshall
- Setelah kira kira temperatur hangat keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *Extruder* (dongkrak)
- Diamkan contoh 1 malam, kemudian periksa berat isinya.
- Rendam dalam *water bath* yang mempunyai temperatur 60°C selam 30 menit, lakukan pengujian marshall untuk mengetahui stabilitas dan kelelahan (*flow*).
- Data yang diperoleh dalam pemeriksaan ini antara lain :
 - Stabilitas
 - Kelelahan (*Flow*)

3.6.5 Berat isi benda uji padat

Setelah benda uji selesai, kemudian dikeluarkan dengan menggunakan *extruder* dan didinginkan, berat isi untuk benda uji tidak porus ditentukan dengan melakukan beberapa kali seperti prosedur (ASTM D 2763). Secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Timbang benda uji diudara
- Rendam benda uji didalam air kurang lebih 4 jam
- Timbang benda uji SSD diudara
- Timbang benda uji di dalam air

3.6.6 Pengujian stabilitas dan kelelahan

Setelah penentuan berat jenis *bulk* benda uji dilaksanakan, pengujian stabilitas dan kelelahan dilaksanakan dengan menggunakan seperangkat alat uji

marshall yang terdiri dari *proving ring* dengan dial stabilitas dan *dial flow* sesuai tabel kalibrasi yang dilakukan secara periodik untuk keakuratan hasil penelitian.

Prosedur pengujian berdasarkan SNI 06-2489-1991, secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Rendam benda uji didalam *water bath* pada temperatur konstan 60°C selama 40 menit sebelum pengujian
- Keringkan permukaan benda uji dan letakkan pada tempat yang tersedia pada alat
- Setelah dial pembacaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), lakukan pengujian dengan kecepatan deformasi konstan 51 mm (2 inchi) per menit sampai terjadi runtuh
- Catat besarnya stabilitas dan kelelahan (*flow*) yang terjadi pada dial.

3.7 Pembuatan Rancangan Campuran Dengan Metode Marshall

Pembuatan rancangan campuran berdasarkan metode marshall ditemukan oleh bruce marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO-245-90. Prinsip dasar dari metode ini adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*) serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Metode marshall dikembangkan untuk rancangan campuran bergradasi baik. Mengikuti ketentuan spesifikasi untuk menjamin agar anggapan anggapan perencanaan mengenai kadar aspal, rongga udara, stabilitas, kelenturan dan keawetan dapat dipenuhi. Untuk perencanaan campuran dengan dapat dilakukan dengan langkah langkah sebagai berikut :

1. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari spesifikasi campuran pekerjaan
2. Merancang proporsi dari masing masing fraksi agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi sesuai butir 1 rancangan campuran dari masing masing fraksi agregat yang akan dicampur. Berdasarkan berat jenis dari masing masing fraksi agregat dan proporsi rancangan campuran ditentukan berat jenis agregat campuran.

3. Menentukan kadar aspal total dalam campuran

Kadar aspal total dalam campuran adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan diserap masuk kedalam pori pori masing masing butir agregat.

Biasanya kadar aspal campuran telah ditetapkan dalam spesifikasi sifat campuran, maka untuk rancangan campuran dilaboratorium dipergunakan kadar aspal tengah/ ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dan rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran.

Kadar aspal tengah/ ideal dapat pula ditentukan dengan mempergunakan beberapa rumus dibawah ini :

(Departement PU,2006)

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta} \quad (3-1)$$

Dengan :

P_b = kadar aspal rencana awal

CA = Agregat kasar

FA = Agregat halus

FF = Bahan pengisi (filler) bila perlu

4. Membuat briket benda uji atau briket campuran. Terlebih dahulu disiapkan agregat dan aspal sesuai jumlah benda uji yang akan dibuat. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum umumnya dibuat 15 buah benda uji untuk 5 variasi kadar aspal yang masing masing berbeda 0.5 % pada tiap jenis kombinasi (kombinai I & II)

Kadar aspal yang dipilih haruslah sedemikian rupa, sehingga dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah dan 2 kadar aspal lebih besar dari nilai kadar aspal tengah. Jika kadar aspal tengah adalah a %, maka benda uji dibuat untuk kadar aspal (a-1)%, (a-0,5)%, (a+0,5)% dan (a+1)%. Masing masing kadar aspal dibuat 3 buah benda uji.

Kadar aspal maupun % lolos saringan agregat untuk dihitung berdasarkan berat campuran.

5. Melakukan uji marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T 245-90. Penimbangan yang dibutuhkan berkaitan dengan perhitungan sifat volumetrik campuran dilakukan terlebih dahulu sebelum uji marshall dilakukan.
6. Secara parallel, lakukan pengujian untuk memperoleh berat jenis BJ campuran (Gr/mm) pada kadar aspal tertentu dengan metode AASHTO T 201 dan hitung dengan menggunakan persamaan berat jenis efektif agregat pada kadar aspal lainnya. Hitung besaran volumetrik dari campuran,

seperti rongga diantara mineral agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terisi aspal (VFA)

7. Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastisitas (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar stabilitas, semakin besar pula *flow*-nya, dan begitu juga sebaliknya. Jadi semakin besar stabilitasnya maka aspal akan semakin mampu menahan beban, demikian juga sebaliknya. Dan jika *flow* semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban. Dari hasil pengamatan pada pengujian Marshall kemudian dibuat grafik hubungan antara presentase kadar aspal dengan presentase rongga terisi aspal (VFA), presentase rongga dalam campuran (VIM), kelelahan (*flow*), stabilitas, dan perbandingan antara stabilitas dan kelelahan (MQ). *Void Filled With Asphalt* (VFA). VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor – faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energy pemadat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan absorpsi agregat. Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar presentase rongga terisi aspal. *Void in the Mix* (VIM). VIM menunjukkan presentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porrus*.

8. Gambarkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter

Marshall seperti :

- Kepadatan
- Stabilitas
- Kelelehan
- *Marshall Quetient*
- VMA
- VFA
- VIM dari hasil pengujian aspal

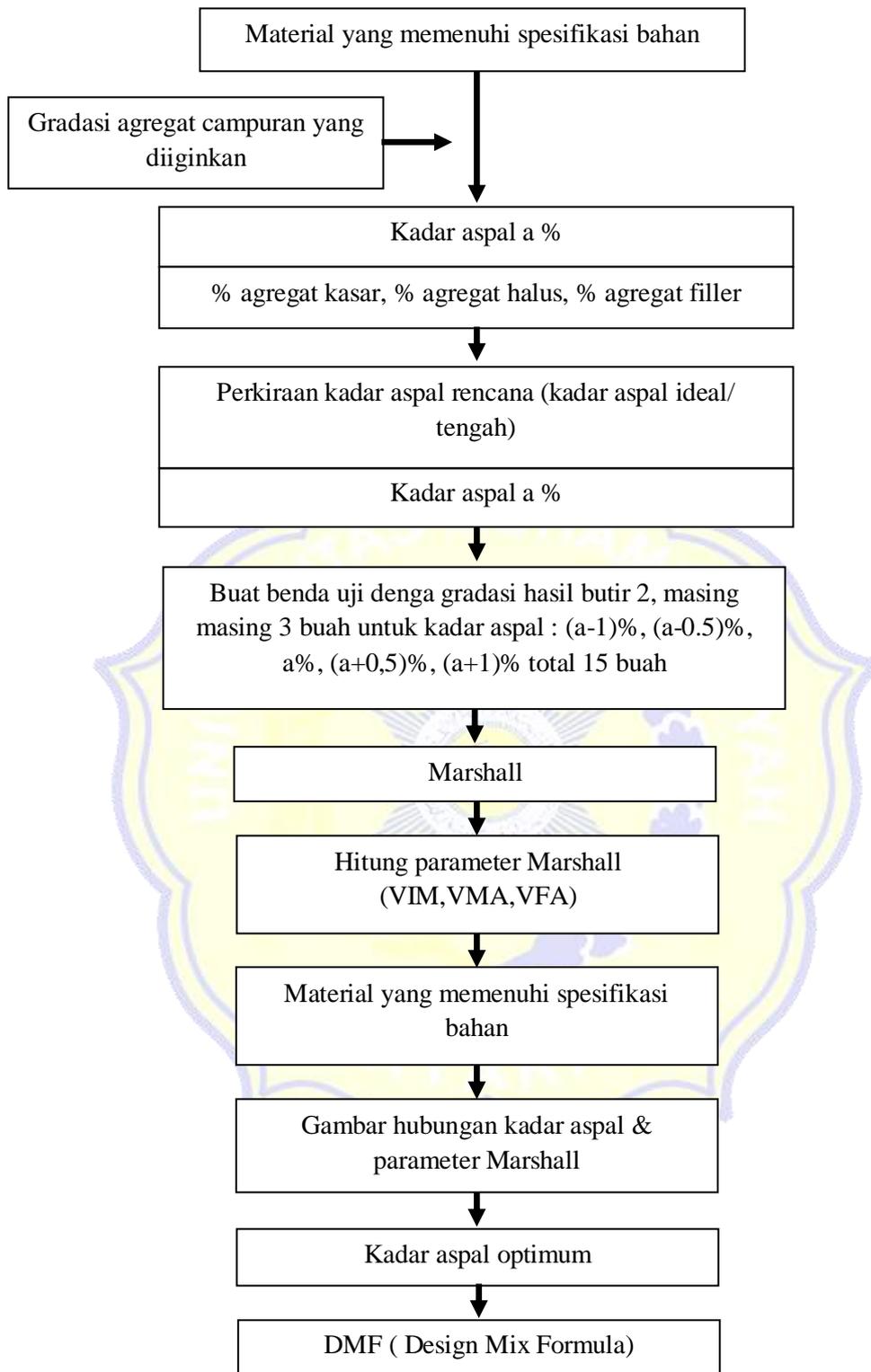
9. Untuk masing-masing parameter yang tercantum dalam persyaratan campuran, gambarkan batas-batas spesifikasi ke dalam grafik tentukan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan. Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran yang diinginkan dalam rentang kadar optimum $\pm 5\%$. Hal ini dibutuhkan untuk mengakomodir fluktuasi yang mungkin terjadi selama produksi campuran

10. Jika hasil yang diperoleh telah memuaskan, maka proporsi campuran agregat dan kadar aspal yang terpilih pada butir 8 merupakan rumus campuran hasil perancangan di laboratorium. Rumus ini dikenal dengan rumus rancangan campuran atau DMF (*design mix formula*) DMF berisikan antara lain :

- a. Ukuran nominal maksimum agregat
- b. Persentase (proporsi) setiap fraksi agregat
- c. Gradasi agregat campuran yang memenuhi gradasi yang diisyaratkan.

3.8 Kerangka Pikir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan oleh peneliti yaitu mulai dari mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran, kemudian merancang proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang memenuhi syarat spesifikasi, setelah itu dilanjutkan untuk menentukan kadar aspal total dalam campuran. Setelah didapatkan kadar aspal ideal dilanjutkan ke tahap pengujian marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (flow), kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari besaran volumetrik dari campuran seperti VMA, VIM dan VFA. Setelah mendapatkan hasil perhitungan untuk masing-masing parameter marshall, dilanjutkan ke tahap penggambaran dalam bentuk grafik untuk menentukan rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi. Jika hasil yang diperoleh telah memuaskan, maka proporsi campuran agregat dan kadar aspal yang terpilih merupakan rumus campuran hasil perancangan di laboratorium, rumus ini dikenal dengan rancangan campuran atau DMF (design mix formula) seperti pada gambar 3.2 berikut:



Sumber : Hasil analisis peneliti, 2020

Gambar 3.2 Bagan alir rancangan campuran metode marshall