



**OPTIMASI KADAR ASPAL BETON AC 60/70 TERHADAP
KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LALU LINTAS BERAT
MENGUNAKAN MATERIAL LOKAL BANTAK**

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik



Oleh :

Mohamad Aqif
NIM.09510134014

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
JUNI 2012**

PERSETUJUAN

Proyek Akhir yang berjudul **“Optimasi Kadar Aspal Beton AC 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lalu Lintas Berat Menggunakan Material Lokal Bantak”** ini telah disetujui pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, Juni 2012

Dosen Pembimbing


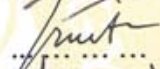
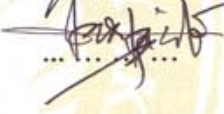


Ir. Endaryanta, M.T.
NIP. 19611109 199001 1 001

PENGESAHAN

Proyek akhir dengan judul “Optimasi Kadar Aspal Beton AC 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lalu Lintas Berat Menggunakan Material Lokal Bantak” ini telah dipertahankan di depan dewan penguji pada tanggal 19 Juni 2012 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Ir. Endaryanta, M.T.	Ketua/Pembimbing		29/6/12 ...6... ..
Ir. Surahmad Mursidi	Penguji Utama I		28/6/12
Faqih Ma'arif, M.Eng.	Penguji Utama II		28/6/12

Yogyakarta, Juni 2012
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Mochamad Bruri Triyono, M.Pd.
NIP. 19560216 198603 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Proyek Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain pada suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Juni 2012

Yang menyatakan



Mohamad Aqif
NIM. 09510134014

**OPTIMASI KADAR ASPAL BETON AC 60/70
TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL
DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL LOKAL BANTAK**

Oleh:
Mohamad Aqif
Nim. 09510134014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik Marshall menggunakan bahan pengikat aspal beton AC 60/70 dengan menggunakan material lokal Bantak, ditinjau dari nilai Stabilitas Marshall, Kepadatan (*Density*), *Flow* (kelelehan), VIM (*Void In Mix*), VMA (*Void In Mineral Agregate*), VFB (*Void Filled Bitumen*) dan *Marshall Quotient* (MQ).

Penelitian ini menggunakan metode pengujian campuran beraspal panas (*Hot Mix*) dengan metode Marshall. Penelitian ini terdiri dari 5 varian, masing-masing varian menggunakan kadar aspal yang berbeda yaitu: 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Dengan masing-masing varian dibuat 3 sampel benda uji. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Tahapan pelaksanaan meliputi pemeriksaan aspal AC 60/70, pemeriksaan agregat (agregat halus dan agregat kasar), pemeriksaan *filler*, pembuatan benda uji campuran beton aspal dan pengujian Marshall.

Hasil uji kinerja karakteristik Marshall didapat pada Kadar Aspal Optimum 6,5% dengan hasil: nilai rerata Stabilitas Marshall 1156,44 kg, nilai rerata *Density* (kepadatan) 2,33 gr/cc, nilai rerata *Flow* (kelelehan) 3,07 mm, nilai rerata VIM (*Void In Mix*) 5,20%, nilai rerata VMA (*Void In Mineral Agregate*) 13,92% nilai rerata VFB (*Void Filled Bitumen*) 60,10% dan nilai rerata *Marshall Quotient* (MQ) 377,28 kg/mm.

Kata Kunci: Agregat Bantak, Aspal AC 60/70, Marshall

MOTTO

*"Orang berilmu hidup kekal setelah kematiannya,
padahal tulangnya telah hancur di dalam tanah"*

"Setiap mata tertutup bukan berarti tidur, setiap mata terbuka bukan berarti melihat"

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT

kupersembahkan Tugas Akhir ini secara khusus untuk

*Bapakku (Mohamad Sehroji) dan Ibuku (Nur Laila) tercinta yang selalu memberikan perhatian,
dukungan dan dorongan serta Do'a restunya. Mengajarkan makna sebagai titipan yang diberikan*

Allah SWT dalam hidup dengan segala pengorbanan untuk kebahagiaanku.

Bapak Ir. H. Mustofa dan keluarga yang telah memberikan dorongan untuk kemajuanku.

Adikku yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.

Teman-teman kelas E'09 yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penyusun panjatkan kepada Allah S.W.T karena berkat rahmat taufik dan hidayah-Nya, penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Optimasi Kadar Aspal Beton AC 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lalu Lintas Berat Menggunakan Material Lokal Bantak”** dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang wajib ditempuh oleh semua mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Dalam Tugas Akhir ini penyusun dibantu oleh banyak pihak oleh karena itu melalui kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu yang telah banyak memberikan dukungan moril dan materil serta Do'a sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Adik tercinta yang telah memberikan semangat dan Do'a sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Faqih Ma'arif, M.Eng. yang telah memberikan arahan dan bimbingan penyusun dari awal sampai akhir penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Endaryanta, M.T., selaku Pembimbing Tugas Akhir.

5. Bapak Drs. Imam Muchoyar, M.Pd, selaku Ketua Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Bapak Sudarman, S.Pd, selaku Teknisi Laboratorium yang telah banyak membantu Tugas Akhir ini.
7. Bapak Dr. Ing. Satoto E.N, S.T, M.Sc, M. Eng, selaku Koordinator Proyek Akhir Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Dodi Wijayanto, Dika Mafaza, Tino Putro P. dan Primadini W. selaku teman-teman seperjuangan dalam penyusunan Tugas Akhir.
9. Mas Maris Setya Nugraha yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun.
10. Teman-teman kelas E_09 yang telah memberikan semangat dan dorongan.
11. Teman-teman kelas E_08, mas Amin dkk yang telah berbagi ilmunya.
12. Semua pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna hal ini disebabkan karena keterbatasan pengetahuan penyusun. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan ini dan semoga dapat bermanfaat bagi insan Teknik Sipil khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Yogyakarta, Juni 2012

Penyusun

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	2
C. Batasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Bahan Bitumen	5
1. Aspal Beton	7
2. Agregat	8
3. Asal Agregat	9
4. Gradasi Agregat	11
5. Berat Jenis Agregat	13

6. Agregat Kasar	14
7. Agregat Halus.....	15
8. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	16
9. Metode Marshall	17
B. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan	19
C. Sifat Volumetrik Dari Campuran Beton Aspal	20
D. Parameter dan Formula Perhitungan	22
1. Berat Jenis Bulk dan <i>Apparent</i> Total Agregat	22
2. Berat Jenis Efektif Agregat	23
3. Berat Jenis Maksimum Campuran	24
4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat.....	25
5. Penyerapan Aspal.....	25
6. Kadar Aspal Efektif.....	26
7. Rongga diantara mineral agregat VMA (<i>Void In The Mineral Agregat</i>)	26
8. Rongga didalam campuran VIM (<i>Void In The Mix</i>)	27
9. Rongga udara terisi aspal VFB (<i>Voids Filled Bitumen</i>).....	28
10. Stabilitas.....	28
11. Kelelehan (<i>Flow</i>).....	29
12. Hasil Bagi Marshall.....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode dan Desain	30
B. Bahan Penelitian	33
C. Peralatan Penelitian	35
D. Prosedur Pengujian Material	42
E. Pengujian Marshall	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	48
1. Pemeriksaan Aspal	48
2. Pemeriksaan Agregat Bantak	48

3. Hasil Pengujian Marshall	49
B. Pembahasan	50
1. Pemeriksaan Aspal	50
2. Pemeriksaan Agregat	52
3. Pengujian Marshall.....	53
a. Kepadatan (<i>density</i>).....	53
b. Stabilitas.....	55
c. Kelelehan (<i>flow</i>).....	57
d. Rongga terisi aspal VFB (<i>Void Filled Bitumen</i>)	59
e. Rongga didalam campuran VIM (<i>Void In Mix</i>)	61
f. Rongga diantara mineral agregat VMA (<i>Void In Mineral Agregat</i>)	64
g. Marshall <i>Quotient</i> (MQ)	66
h. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	68
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	70
B. Saran	70
 DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Ukuran butiran agregat	12
Tabel 2.	Persyaratan agregat kasar	15
Tabel 3.	Persyaratan agregat halus	16
Tabel 4.	Komposisi campuran Marshall.....	19
Tabel 5.	Spesifikasi pengujian bahan agregat kasar	43
Tabel 6.	Spesifikasi pengujian bahan agregat halus	43
Tabel 7.	Spesifikasi pengujian bahan <i>filler</i>	44
Tabel 8.	Spesifikasi pengujian bahan aspal AC 60/70	44
Tabel 9.	Hasil pemeriksaan aspal AC 60/70.....	48
Tabel 10.	Hasil pemeriksaan agregat bantak	49
Tabel 11.	Hasil pengujian Marshall.....	50
Tabel 12.	Hasil pengujian Kepadatan (<i>density</i>).....	53
Tabel 13.	Hasil pengujian Stabilitas Marshall.....	55
Tabel 14.	Hasil pengujian <i>Flow</i>	58
Tabel 15.	Hasil pengujian VFB (<i>Void Filled Bitumen</i>)	60
Tabel 16.	Hasil pengujian VIM (<i>Void In Mix</i>)	62
Tabel 17.	Hasil pengujian VMA (<i>Void In Mineral Aggregate</i>)	64
Tabel 18.	Hasil pengujian <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	66
Tabel 19.	Spesifikasi bahan aspal.....	74
Tabel 20.	Spesifikasi alat.....	74
Tabel 21.	Hasil pengujian pembakaran aspal	75
Tabel 22.	Pengujian penetrasi aspal AC 60/70.....	76

Tabel 23.	Hasil pengujian penetrasi aspal AC 60/70.....	76
Tabel 24.	Suhu dan waktu pengambilan data	78
Tabel 25.	Data hasil pengujian	79
Tabel 26.	Data pengujian titik nyala dan titik bakar.....	80
Tabel 27.	Suhu dan waktu pengambilan data	83
Tabel 28.	Data hasil pengamatan (benda uji I).....	84
Tabel 29.	Data hasil pengamatan (benda uji II).....	85
Tabel 30.	Data hasil pengamatan (benda uji III)	86
Tabel 31.	Suhu dan waktu pengambilan data	87
Tabel 32.	Hasil pengujian berat jenis aspal AC 60/70	87
Tabel 33.	Data hasil pengujian	89
Tabel 34.	Data hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan	90
Tabel 35.	Data hasil pengujian keausan agregat kasar bantak	91
Tabel 36.	Data hasil pengujian	92
Tabel 37.	Data hasil perhitungan berat jenis agregat halus	93
Tabel 38.	Data pengujian modulus kehalusan butir (MKB) Pasir 1.....	94
Tabel 39.	Data pengujian modulus kehalusan butir (MKB) Pasir 2.....	95
Tabel 40.	Data pengujian MKB agregat kasar	100
Tabel 41.	Data hasil pengujian berat jenis <i>filler</i>	101
Tabel 42.	Data hasil perhitungan berat jenis <i>filler</i>	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Skema volume butir agregat.....	13
Gambar 2.	Fungsi aspal pada setiap butir agregat	20
Gambar 3.	Perbedaan fungsi aspal pada lapisan jalan	20
Gambar 4.	Skematis berbagai jenis volume beton aspal.....	22
Gambar 5.	Bagan alir penelitian	32
Gambar 6.	Agregat kasar Bantak	33
Gambar 7.	Agregat halus Bantak	34
Gambar 8.	Aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra.....	34
Gambar 9.	Alat uji penetrasi aspal	35
Gambar 10.	Alat uji titik lembek aspal	36
Gambar 11.	Alat uji titik nyala dan bakar.....	36
Gambar 12.	Alat uji berat jenis	37
Gambar 13.	Satu set saringan pasir.....	37
Gambar 14.	Alat cetak benda uji.....	38
Gambar 15.	Alat penumbuk benda uji	39
Gambar 16.	Alat pengeluar benda uji	39
Gambar 17.	Alat uji Marshall	40
Gambar 18.	Oven	40
Gambar 19.	Grafik hubungan Kepadatan (<i>density</i>) dan kadar aspal.....	54
Gambar 20.	Grafik hubungan Stabilitas dan kadar aspal.....	56
Gambar 21.	Grafik hubungan <i>Flow</i> dan kadar aspal	58

Gambar 22.	Grafik hubungan VFB dan kadar aspal.....	60
Gambar 23.	Grafik hubungan VIM dan kadar aspal.....	63
Gambar 24.	Grafik hubungan VMA dan kadar aspal	65
Gambar 25.	Grafik hubungan MQ (<i>Marshall Quotient</i>) dan kadar aspal..	67
Gambar 26.	Grafik penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	68
Gambar 27.	Sketsa hasil pengujian penetrasi aspal AC 60/70.....	77
Gambar 28.	MKB agregat halus Bantak 1	96
Gambar 29.	MKB agregat halus Bantak 2	97
Gambar 30.	Grafik analisa ayakan agregat kasar Bantak 1	98
Gambar 31.	Grafik analisa ayakan agregat kasar Bantak 2	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Laporan pengujian pemanasan aspal.....	74
Lampiran 2.	Laporan pengujian penetrasi aspal	76
Lampiran 3.	Laporan pengujian titik nyala dan titik bakar	78
Lampiran 4.	Laporan pengujian titik lembek aspal	83
Lampiran 5.	Laporan pengujian berat jenis aspal.....	87
Lampiran 6.	Laporan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	89
Lampiran 7.	Laporan pengujian keausan agregat kasar.....	91
Lampiran 8.	Laporan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	92
Lampiran 9.	Laporan pengujian MKB agregat halus	94
Lampiran 10.	Laporan pengujian MKB agregat kasar	98
Lampiran 11.	Laporan pengujian berat jenis dan penyerapan <i>filler</i>	101

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

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.

Yogyakarta merupakan salah satu daerah dengan sumber daya alam yang melimpah. Hal ini dapat ditandai dengan adanya Gunung Merapi yang masih aktif bersamaan dengan erupsi laharnya juga mengeluarkan jutaan meter kubik material vulkanik yang terdiri dari pasir, kerikil dan batuan. Bantak adalah salah satu material letusan Gunung Merapi yang memiliki tingkat kekerasan yang rendah. Bantak belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, padahal terdapat 70% dari seluruh material yang dikeluarkan Gunung Merapi (Rahmat, 2010).

Batu bantak merupakan material batuan berpori yang memiliki tingkat kekerasan yang rendah. Batu bantak ini belum banyak diketahui oleh

masyarakat umum dan masih sangat minim penggunaannya oleh masyarakat, khususnya digunakan pada material pembangunan konstruksi. Padahal ketersediaan batu bantak ini sebanyak 70% dari material yang dikeluarkan oleh gunung Merapi (Rahmat, 2010).

Berdasarkan permasalahan tersebut diatas penulis melakukan penelitian untuk Proyek Akhir mengenai pemanfaatan bantak sebagai agregat bahan perkerasan jalan raya dengan menggunakan aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, permasalahan yang terkait pada penelitian Proyek Akhir ini antara lain :

1. Kekuatan perkerasan jalan dengan aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan agregat Bantak dan kekuatan perkerasan jalan dengan aspal AC 60/70 Pertamina dengan agregat yang terdapat di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Persentase (%) kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap yang digunakan untuk memperoleh proporsi campuran beton aspal padat yang baik jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.
3. Hubungan antara kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan kepadatan Marshall jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.

4. Hubungan antara kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan stabilitas Marshall jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.
5. Hubungan antara kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan nilai persentase volume pori dalam beton aspal padat (*VIM*) jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.
6. Hubungan antara kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan nilai persentase volume pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat yang terisi oleh aspal (*VFB*) jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.
7. Hubungan antara kadar aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap dengan nilai persentase volume pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat (*VMA*) jika agregat yang dipakai adalah agregat bantak.

C. Batasan Masalah

1. Aspal yang digunakan adalah aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra Cilacap.
2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian Marshall.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, dapat dirumuskan :

1. Berapakah besarnya kadar aspal optimal AC 60/70 dengan menggunakan bantak sebagai agregat kasar pada perkerasan jalan?

2. Berapakah besarnya persen rongga dalam campuran (VIM), persen rongga terisi aspal (VFB), persen rongga diantara mineral agregat (VMA), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quatient*?

E. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kadar aspal optimal AC 60/70 dengan menggunakan bantak sebagai agregat kasar.
2. Mengetahui persen rongga dalam campuran (VIM), persen rongga terisi aspal (VFB), persen rongga diantara mineral agregat (VMA), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quatient*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai penelitian pendahulu tentang pemanfaatan agregat lokal bantak.
2. Memberikan informasi tentang uji kinerja AC 60/70 menggunakan material lokal bantak.
3. Upaya meningkatkan material lokal untuk memenuhi kebutuhan agregat kasar.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Bahan Bitumen

Bitumen adalah zat perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen terutama mengandung senyawa hidrokarbon seperti aspal, tar, atau *pitch*. Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Tar adalah material berwarna coklat atau hitam, berbentuk cair atau semipadat, dengan unsur utama bitumen sebagai hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batu bara, minyak bumi, atau mineral organik lainnya. *Pitch* didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) padat, berwarna hitam atau coklat tua, yang berbentuk cair jika dipanaskan. *Pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. *Pitch* dan tar tidak diperoleh dari alam, tetapi merupakan produk kimiawi. Dari ketiga material pengikat di atas, aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut juga sebagai aspal.

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk

campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

Aspal alam adalah aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton yang disebut dengan Asbuton. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka asbuton mulai diproduksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan asbuton.

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada suhu ruang. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semipadat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt*

cement). Aspal cair (*cutback asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang di cairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi lebih cair daripada aspal cair.

1. Aspal Beton

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Lapis aspal beton merupakan jenis tertinggi dari perkerasan yang merupakan campuran dari bitumen dengan agregat bergradasi menerus dan cocok untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan berat. Material-material pembentuk aspal beton dicampur dan diinstalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°-155° C, sehingga disebut aspal beton campuran panas. Campuran ini dikenal juga dengan nama *hotmix*.

Aspal beton harus memiliki karakteristik dalam pencampuran yaitu stabilitas, keawetan atau *durabilitas*, kelenturan atau *fleksibilitas*, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan. Ketujuh sifat aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis

campuran. Sifat-sifat aspal beton mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis aspal beton yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis aspal beton yang mempunyai sifat *durabilitas* dan *fleksibilitas* yang tinggi, daripada memilih jenis aspal beton dengan stabilitas tinggi.

2. Agregat

Agregat terdiri dari pasir, gravel, batu pecah, slag atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan. Agregat merupakan bagian terbesar dari campuran aspal. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan tugas utamanya untuk menahan beban lalu lintas. Agregat dari bahan batuan pada umumnya masih diolah lagi dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga didapatkan ukuran sebagaimana dikehendaki dalam campuran. Agar dapat digunakan sebagai campuran aspal, agregat harus lolos dari berbagai uji yang telah ditetapkan.

Agregat adalah suatu bahan yang keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran dan berupa berbagai jenis butiran atau pecahan, termasuk didalamnya antara lain: pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi dan debu agregat. Banyaknya agregat dalam campuran aspal pada umumnya berkisar antara 90% sampai dengan 95% terhadap total berat campuran atau 70% sampai dengan 85% terhadap volume campuran aspal (Wahyudi, 2010).

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas karena dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban di atasnya dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dikandungnya. Diantara sifat-sifat yang ada yaitu *strength* atau kekuatan, *durability* atau keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan. Sifat kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) dipengaruhi oleh gradasi, kadar lumpur, kekerasan (*hardness*) dan bentuk butir (*shape-grain*). Gradasi merupakan ukuran luar dari agregat dan dibedakan menjadi agregat kasar, halus dan agregat pengisi (*filler*). Gradasi yang baik, seragam dan seimbang dapat meningkatkan kekuatan dan keawetan karena rongga yang dibentuk mudah dimasuki oleh *filler* sehingga kerapatannya meningkat akibat tidak ada rongga yang kosong begitu saja (Putrowijoyo, 2006).

3. Asal Agregat

Asal agregat dapat digolongkan dalam 3 kategori:

- a. Agregat dari batuan beku (*volcanic rock*): agregat ini terjadi akibat pendinginan dan pembekuan dari bahan-bahan yang meleleh akibat panas (magma bumi). Agregat ini digolongkan dalam 2 jenis pokok:
 - 1) Agregat dari batuan ekstrusif: terjadinya akibat dilempar ke udara dan mendingin secara cepat. Jenis pokoknya: *pyolite*, *andesite* dan *basalt*. Sifat utamanya: berbutir halus, keras dan cenderung rapuh.

- 2) Agregat dari batuan intrusif: terjadinya akibat batuan yang mendingin secara lambat dan diperoleh sebagai singkapan. Jenis pokoknya: granit, diorit dan gabro. Sifat utamanya: berbutir kasar, keras dan kaku.
- b. Agregat dari batuan endapan (*sedimentary rock*): agregat terjadi dari hasil endapan halus dari hasil pelapukan batuan bebas, tumbuh-tumbuhan, binatang. Dengan mengalami proses pelekatan dan penekanan oleh alam maka menjadi agregat/batuan endapan. Jenis agregat dari batuan endapan antara lain: batuan kapur, batuan silika dan batuan pasir.
- c. Agregat dari batuan methamorphik: agregat terjadi dari hasil modifikasi oleh alam (perubahan fisik dan kimia dari batuan endapan dan beku sebagai hasil dari tekanan yang kuat, akibat gesekan bumi dan panas yang berlebihan). Sebagai contoh: batuan kapur menjadi marmer dan batuan pasir menjadi kwarsa.

Agregat untuk campuran perkerasan jalan juga diklasifikasikan berdasarkan sumbernya:

- a. *Pit* atau *bank run materials (pit-run)*, biasanya gravel dari ukuran 75 mm (3 inchi) sampai ukuran 4.75 mm (No. 4). Pasir yang terdiri partikel ukuran 4.75 mm (No. 4) hingga partikel berukuran 0.075 mm (No. 200). Ada juga *silt* yang berukuran 0.075 mm kebawah. Batu-batuan tersebut tersingkap dan ter-degradasi oleh alam baik secara fisik maupun kimiawi. Produk proses degradasi ini kemudian diangkut oleh

angin, air atau es (*gletser* yang bergerak) dan diendapkan disuatu lahan.

- b. Agregat hasil proses, merupakan hasil proses pemecahan batu-batuan dengan *stone-crusher machine* (mesin pemecah batu) dan disaring. Agregat alam biasanya dipecah agar dapat digunakan sebagai campuran aspal. Agregat yang dipecah tersebut kualitasnya kemungkinan bertambah, dimana pemecahan akan merubah tekstur permukaan, merubah bentuk agregat dari bulat ke bersudut, menambah distribusi dan jangkauan ukuran partikel agregat. Pemecahan batu bisa dari ukuran *bedrocks* atau batu yang sangat besar. Pada ukuran *bedrocks* sebelum masuk mesin *stone-crusher* maka pengambilannya melalui blasting (peledakan dengan dinamit).
- c. Agregat sintetis/buatan (*synthetic/artificial aggregates*), sebagai hasil modifikasi, baik secara fisik atau kimiawi. Agregat demikian merupakan hasil tambahan pada proses pemurnian biji tambang besi atau yang spesial diproduksi atau diproses dari bahan mentah yang dipakai sebagai agregat. Terak dapur tinggi (*blast-furnace slag*) adalah yang paling umum digunakan sebagai agregat buatan. Terak yang mengapung pada besi cair adalah bukan bahan logam (*non-metallic*), kemudian ukurannya diperkecil dan didinginkan dengan udara. Pemakaian agregat sintetis untuk pelapisan lantai jembatan, karena agregat sintetis lebih tahan lama dan lebih tahan terhadap geseran dari pada agregat alam.

4. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran partikelnya dan dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya. Gradasi ditentukan dengan melewati sejumlah material melalui serangkaian saringan dari ukuran besar ke ukuran kecil dan menimbang berat material yang tertahan pada masing-masing saringan. Kombinasi gradasi agregat campuran dinyatakan dalam persen berat agregat.

Ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002 disajikan pada Tabel 1 di bawah:

Tabel 1. Ukuran butir agregat

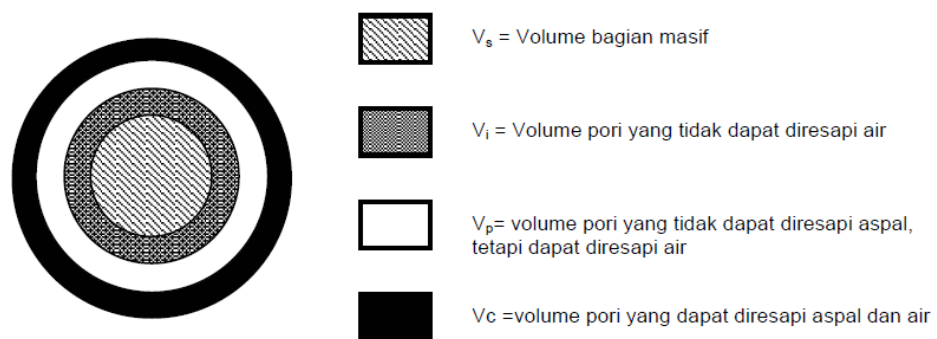
Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inci	100,00	3/8 inci	9,5
3 ½ inci	90,00	No.4	4,75
3 inci	75,00	No.8	2,36
2 ½ inci	63,00	No.16	1,18
2 inci	50,00	No.30	0,6
1 ½ inci	37,50	No.50	0,3
1 inci	25,00	No.100	0,15
¾ inci	19,00	No.200	0,075
½ inci	12,50		

Analisis saringan dapat dilakukan dengan cara basah atau kering. Analisis basah dilakukan untuk menentukan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200, mengikuti manual SNI-M-02-1994-03 atau AASTHO T11-90. Presentase lolos saringan ditentukan melalui pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (saringan kering) sesuai manual SNI-03-1968-1990 atau AASHTO T27-88. Pemeriksaan jumlah bahan

dalam agregat yang lolos saringan No.200, dengan menggunakan saringan basah dapat dilanjutkan dengan mengeringkan benda uji dan selanjutnya melakukan pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (Sukirman, 2003).

5. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat jenis ringan.



Gambar 1. Skema Volume Butir Agregat

(Sumber: Sukirman, 2005)

Pada Gambar 1 diatas terlihat skema volume butir agregat, yang terdiri dari volume agregat massif (V_s), volume pori yang tidak dapat diresapi oleh air (V_i), volume pori yang diresapi air (V_p+V_c), dan volume pori yang dapat diresapi aspal (V_c).

$$V_s + V_p + V_i + V_c = \text{volume total butir agregat}$$

$$V_p + V_i + V_c = \text{volume pori agregat}$$

Besarnya berat jenis efektif =

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram

Berat jenis agregat halus harus ditentukan dengan menggunakan SNI 03-1969-1990; SK SNI M-09-1989-F atau AASHTO T84-88.

6. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8), menurut saringan ASTM. Fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran (*particle shape*) yang bulat memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi.

Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian *Soundness* dikarenakan keterbatasan peralatan.

Tabel 2. Persyaratan Agregat Kasar.

No	Jenis Pekerjaan	Standar		Syarat	Sat
		AASHTO	Bina Marga		
1	Abrasi	T-96-74	PB-0206-76	Max.40	%
2	Kelekatan terhadap aspal	T-182-76	PB-0205-74	95	%
3	BJ semu	T-85-74	PB-0202-76	>2,50	
4	<i>Absorpsi</i>	T-85-74	PB-0202-76	<3	%

7. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No.8 (2,36 mm) tertahan saringan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran). Di bawah ini adalah tabel persyaratan agregat menurut Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis beton Aspal. Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian *Sand Equivalent* dan *Soundness* dikarenakan keterbatasan peralatan.

Tabel 3. Persyaratan Agregat Halus.

No	Jenis Pekerjaan	Standar		Syarat	Sat.
		AASHTO	Bina Marga		
1	BJ Semu	T-85-74	PB-0202-76	>2,50	-
2	Absorpsi	T-85-74	PB-0202-76	<3	%

8. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu dolomite, semen Portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi yang merupakan mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Dari sekian banyak jenis bahan pengisi maka kapur padam banyak digunakan dari pada Portland semen. Portland semen mudah diperoleh dan mempunyai grading butiran yang bagus namun demikian harganya sangat mahal.

Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Banyak spesifikasi untuk *wearing course* menyarankan banyaknya bahan pengisi kira-kira 5% dari berat adalah mineral yang lolos saringan No. 200.

Terlalu tinggi kandungan bahan pengisi akan menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban lalu lintas, namun dilain pihak bila terlalu sedikit bahan pengisi akan menghasilkan campuran yang lembek pada cuaca panas. Parapeneliti telah sepakat menaikkan kuantitas bahan pengisi akan menyebabkan meningkatkan

stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran, namun ada batasnya. Terlalu tinggi kandungan bahan pengisi akan menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban lalu lintas, namun dilain pihak bila terlalu sedikit bahan pengisi akan menghasilkan campuran yang lembek pada cuaca panas.

9. Metode Marshall

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 T-245-90. Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas

dan flow, dan perhitungan sifat volumetric benda uji. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Jumlah benda uji yang disiapkan.
- b. Persiapan agregat yang akan digunakan.
- c. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
- d. Persiapan campuran aspal beton.
- e. Pemadatan benda uji.
- f. Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C. Setelah dikeringkan agregat dipisah-pisahkan sesuai fraksi ukurannya dengan mempergunakan saringan. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak diadakan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara 145 °C-155 °C, sedangkan suhu pemadatan antara 110 °C-135 °C. Di bawah ini terdapat komposisi *Marshall*:

Tabel 4. Komposisi campuran Marshall

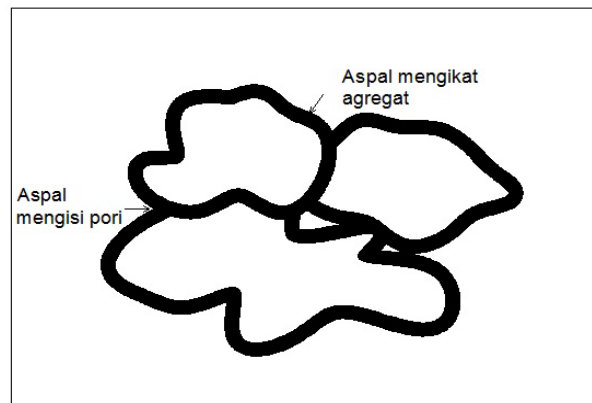
Jenis Agregat	Lolos	Tertahan	Jumlah (gr)
Agregat kasar	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	120
	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	120
	$\frac{3}{8}$ "	#4	192
	#4	#8	198
Agregat Halus	#8	#30	270
	#30	#100	132
	#100	#200	84
Filler	#200	pan	84
Jumlah total			1200

B. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

Aspal yang dipergunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

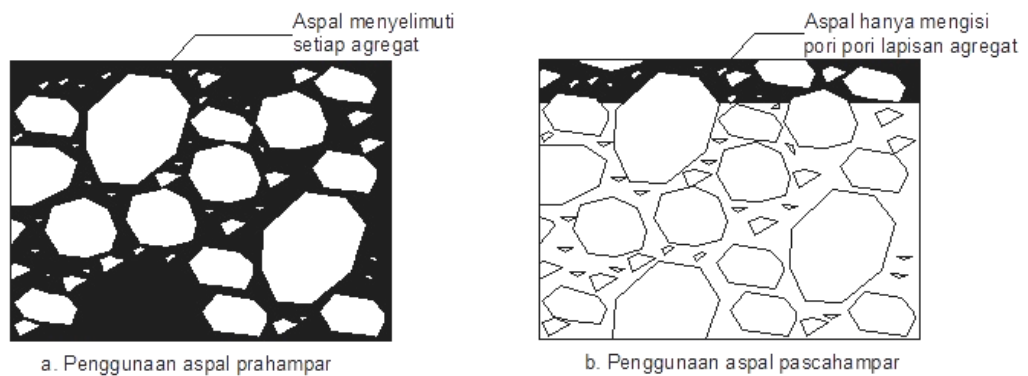
1. Bahan Pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada dalam butir agregat itu sendiri.

Fungsi utama aspal untuk kedua jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran prahampar dan pascahampar itu berbeda. Pada proses prahampar aspal yang dicampur dengan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar butir, dan meresap kedalam pori masing-masing butir.



Gambar 2. Fungsi aspal pada setiap butir agregat
(Sumber: Sukirman, 2003)

Ilustrasi tentang aspal untuk setiap butir agregat digambarkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 3. Perbedaan fungsi aspal pada lapisan jalan

(Sumber: Sukirman, 2003)

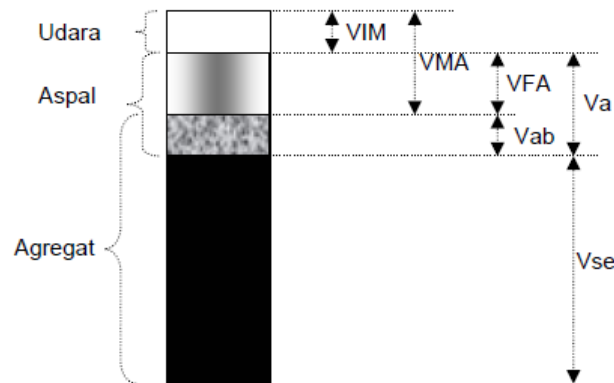
C. Sifat Volumetrik Dari Campuran Beton Aspal

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi

pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga berbentuk beton aspal padat.

Secara analitis, dapat ditentukan sifat volumetrik dari beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasa digunakan adalah:

1. V_{mb} : Volume bulk dari beton padat
2. V_{sb} : Volume agregat, adalah volume bulk dari agregat (volume bagian massif + pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat).
3. V_{se} : Volume agregat, adalah volume efektif dari agregat (volume bagian massif + pori yang tidak terisi aspal di dalam masing-masing butir agregat).
4. VMA : Volume pori di antara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal, (*void in the mineral aggregate*).
- V_{mm} : Volume tanpa pori dari beton aspal padat.
5. VIM : Volume pori beton aspal padat (*void in mix*).
6. VFA : Volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal (*volume of voids filled with asphalt*).
7. V_{ab} : Volume aspal yang terabsorpsi kedalam agregat dari beton aspal padat.
8. Tebal *film* aspal : Tebal *film* aspal atau selimut aspal seingkali digunakan pula untuk menentukan karakteristik beton aspal.



Gambar 4. Skematis berbagai jenis volume beton aspal
(Sumber: Sukirman, 2003)

D. Parameter dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas (menurut Sukirman) adalah sebagai berikut :

1. Berat Jenis Bulk dan *Apparent* Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/*filler* yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk spesific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent grafity*). Setelah didapatkan Kedua macam berat jenis pada masing-masing agregat pada pengujian material agregat maka berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

a. Berat jenis kering (*bulk spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{sbtotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} = \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

$G_{sbtotagregat}$: Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

Gsb1, Gsb2..Gsb : Berat jenis kering dari masing-masing agregat
1, 2,3..n, (gr/cc)

P1, P2, P3, : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

b. Berat jenis semu (*apparent spesific gravity*) dari total agregat

$$G_{satotagregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Gsatot agregat : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

Gse1, Gse2... Gsen : Berat jenis semu dari masing-masing
agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

P1, P2, P3, ... : Prosentase berat dari masing-masing agregat.

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$Gse = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan
(gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Gb : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*, (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*, (gr/cc)

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (Gmm) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (Gse) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (6)$$

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)

Pmm : Persen berat total campuran (=100)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$Gmb = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Vbulk : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

Wa : Berat di udara, (gr)

5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$Pba = 100 \frac{Gse - Gsb}{Gse \times Gsb} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Gse : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (Pbe) 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 akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} Ps \quad \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

Pbe : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

7. Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (Gsb) 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 adalah dengan rumus berikut :

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \right) \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

8. Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/ VIM*)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 \times \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc).

9. Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/ VFB*)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFB = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

10. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Selain itu pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (pound force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram.

Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

11. *Flow*

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas Nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

12. Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi Marshall/ *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan keelehan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{Ms}{Mf} \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient, (kg/mm)*

MS : *Marshall Stabilit,y (kg)*

MF : *Flow Marshall, (mm)*

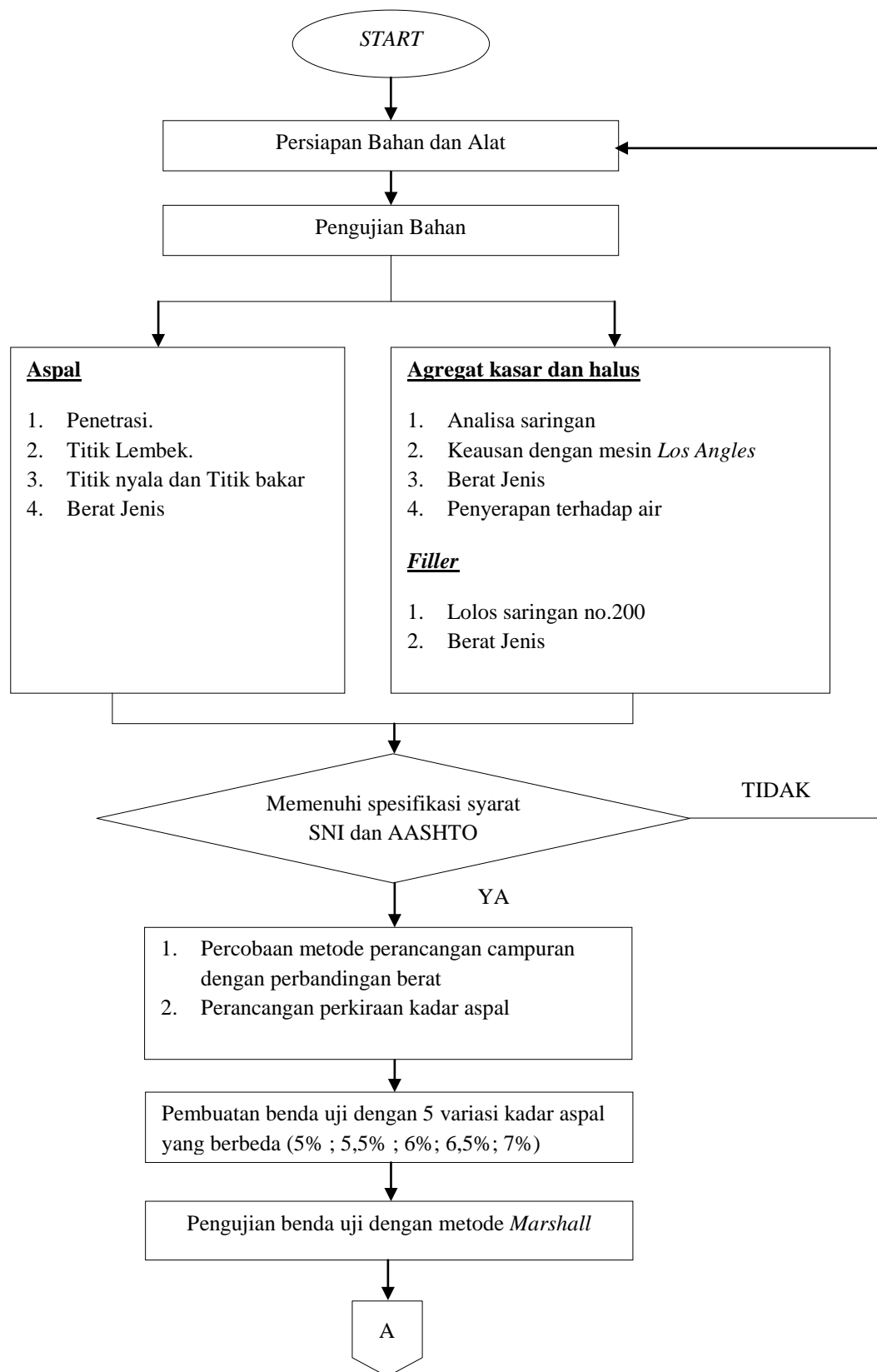
BAB III

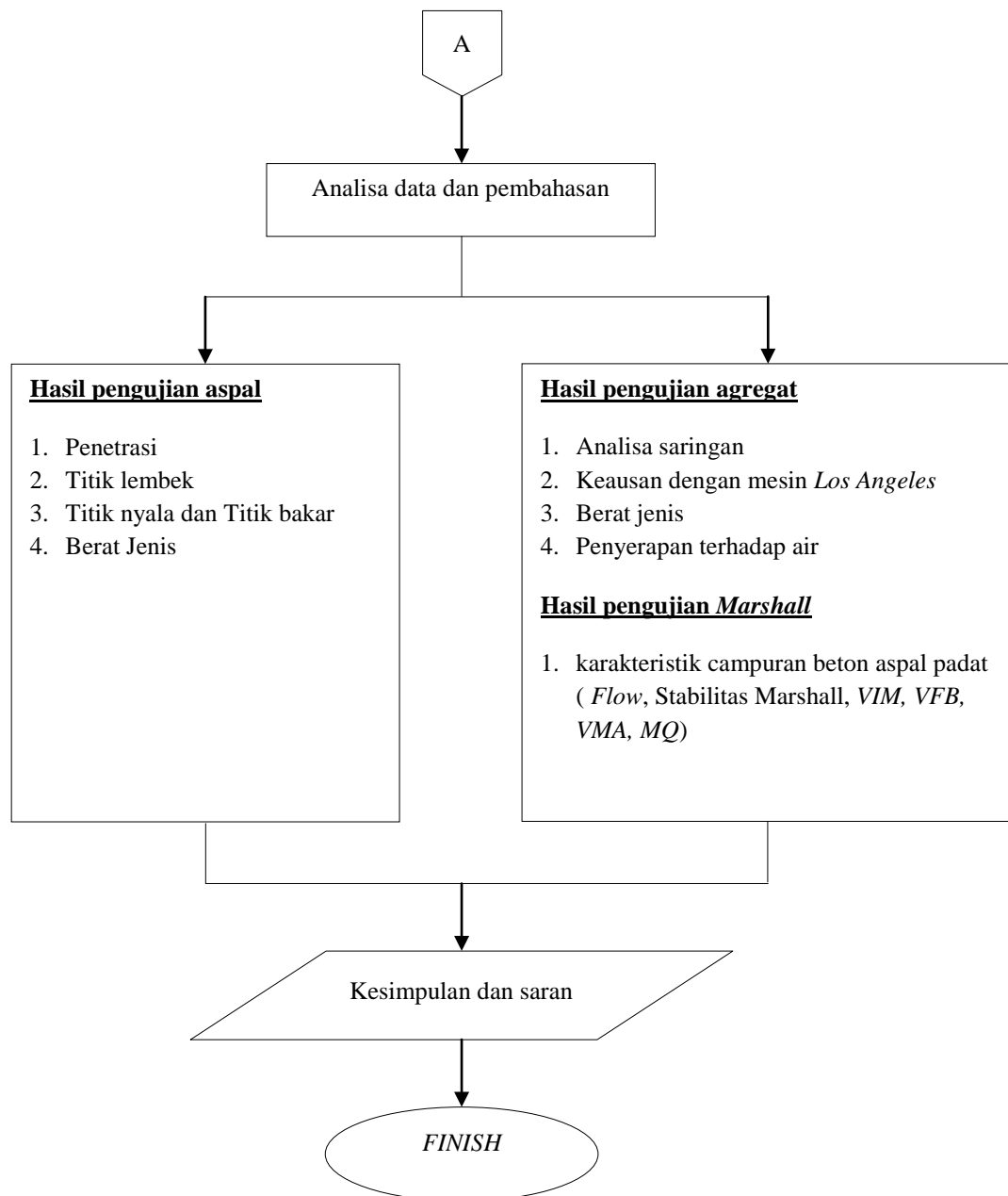
METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode dan Desain

Penelitian Proyek Akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta dengan menggunakan sistem pencampuran aspal panas, aspal yang digunakan sebagai pengikat adalah aspal AC 60/70 dari PT. Aspal Mitra Cilacap. Sedangkan metode pengujiannya mengacu pada Standard Nasional Indonesia (SNI) dan AASHTO yang telah disahkan.

Di dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran (uji Marshall). Pengujian terhadap agregat termasuk analisa saringan, pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles, dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal AC 60/70 termasuk juga pengujian penetrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, dan berat jenis. Sedangkan metode yang digunakan sebagai penguji campuran adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen Marshall, yaitu stabilitas, *flow*, *Void in the Mineral Agregat/VMA*, Rongga di dalam campuran *Void In The Compacted Mixture/VIM*, Rongga udara yang terisi aspal (*Void Filled with Bitumen/ VFB*), Hasil bagi Marshall / *Marshall Quotient (MQ)*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat secara skematis pada Gambar 5 dibawah ini.





Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

B. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian proyek akhir ini antara lain:

1. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat bantak yang berasal dari material gunung merapi yang diambil dari PT. Calvary Abadi, yang sudah mengalami pemecahan dan diayak menurut fraksi yang dikehendaki untuk campuran beton aspal panas.



Gambar 6. Agregat kasar bantak

2. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah hasil pecahan kecil/tumbukan dari agregat bantak yang memenuhi syarat agregat halus dan diayak menurut fraksi yang dikehendaki untuk campuran beton aspal panas, yang diambil dari PT. Calvary Abadi.



Gambar 7. Agregat Halus Bantak

3. Agregat pengisi (*filler*)

Agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan dan penumbukan agregat bantak.

4. Bahan pengikat (aspal)

Untuk bahan pengikat (aspal) digunakan aspal AC 60/70 yang diambil melalui distributor aspal di Cilacap yaitu PT. Aspal Mitra Cilacap. Aspal ini banyak digunakan di Indonesia.



Gambar 8. Aspal AC 60/70 PT. Aspal Mitra

C. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk mendukung berjalannya penelitian proyek akhir ini antar lain:

1. Alat uji pemeriksaan aspal

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain: satu set alat uji penetrasi, satu set alat uji titik lembek, satu set alat uji titik nyala dan titik bakar, satu set alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini:

a. Satu set alat uji penetrasi



Gambar 9. Alat uji Penetrasi Aspal

b. Satu set alat uji titik lembek



Gambar 10. Alat uji Titik Lembek Aspal

c. Satu set alat uji titik nyala dan titik bakar



Gambar 11. Alat uji Titik Nyala dan Titik Bakar

d. Satu set alat uji berat jenis



Gambar 12. Alat uji Berat Jenis

2. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin Los Angeles (tes abrasi), satu set saringan standar (yang terdiri dari ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #16, #30, #50 dan #200), alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendam, tempat agregat.



Gambar 13. Satu set saringan pasir

3. Alat uji karakteristik campuran agregat

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

- a. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inch) dengan tinggi 7,5 cm (3 inch) untuk *Marshall* standar.



Gambar 14. Alat cetak benda uji

- b. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :

- 1) Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
- 2) Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,38 x 30,48 x 2,54 cm dan di jangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
- 3) Pemegang cetakan benda uji.



Gambar 15. Alat penumbuk benda uji

- c. Alat pengeluar benda uji, untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan (*Ejector*).



Gambar 16. Alat pengeluar benda uji

d. Alat Marshall lengkap dengan:

- 1) Kepala penekan (*Breaking Head*) berbentuk lengkung.
- 2) Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- 3) Arloji pengukur pelelehan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.



Gambar 17. Alat uji Marshall

e. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur yang mampu memanasi sampai 200°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).



Gambar 18. Oven

- f. Bak perendam (*Water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20 - 60°C (± 1 °C).
- g. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- h. Pengukur suhu (*thermometer*) berkapasitas 360 °C dengan ketelitian 1 % dari kapasitas sesuai dengan standart SNI 19-6421-2000.
- i. Perlengkapan lain :
 - 1) Panci-panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal.
 - 2) Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.
 - 3) Kompor dan alat pemanas (*hot plate*).
 - 4) Sarung tangan dari asbes dan sarung tangan dari karet dan pelindung pernafasan atau masker.
 - 5) Kantong plastik kapasitas 2 kg.
 - 6) Kompor listrik.
 - 7) Kaliper.
 - 8) Tipe ex/cat minyak.
 - 9) Saringan

Saringan harus mampu mengayak semua agregat menurut fraksi dan proporsi yang ditetapkan dan harus mempunyai kapasitas sedikit diatas kapasitas penuh unit pengaduk.

10) Kotak penimbang atau *Hoper*

Kotak penimbang atau *hoper* harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk menampung satu takaran penuh (*full batch*) tanpa harus diratakan dengan tangan.

D. Prosedur Pengujian Material

Pemeriksaan yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Tujuan pemeriksaan bahan ini adalah diharapkan salah satu faktor kestabilan konstruksi perkerasan dapat terpenuhi, disamping hal lainnya yang menyangkut pelaksanaan dilapangan. Pemeriksaan material yang meliputi agregat kasar, agregat halus maupun aspal mengacu pada standar SNI dan AASHTO. Spesifikasi pengujian dapat dilihat secara lengkap di bawah ini.

1. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang lolos saringan 3/4'' dan tertahan di atas saringan 2,36 mm atau saringan no.8. Agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran nominal. Sedangkan menurut SNI (1990, 1991) dan Sukirman (2003) ketentuan pengujian bahan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Spesifikasi pengujian bahan agregat kasar

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Agregat Kasar				
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	-		
2	Berat jenis	SNI 03-1969-1990	gr/cc	2,5	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	%	-	3
4	Kadar air	SNI 03-1971-1990	%	-	-
5	Kearifan agregat (<i>abrasi</i>)	SNI 03-2417-1991	%	-	40

2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dari masing-masing sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pemecah batu yang lolos saringan no. 8 dan tertahan di atas saringan no. 200. Agregat halus hasil pemecahan dan pasir alam harus ditimbun dalam cadangan terpisah dari agregat kasar di atas serta dilindungi terhadap hujan dan pengaruh air. Material tersebut harus merupakan bahan bersih, keras bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Menurut SNI (1990), AASHTO (1974) dan Sukirman (2003) ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Spesifikasi pengujian bahan agregat halus

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Agregat Halus				
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	-		
2	Berat jenis	SNI 03-1969-1990	gr/cc	2,5	-
3	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	%	-	3
4	Kadar air	SNI 03-1971-1990	%	-	-

3. Filler

Filler atau Bahan pengisi harus lolos saringan no. 200. Sebaiknya filler juga harus bebas dari semua bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. Bahan pengisi yang diuji pada penelitian ini adalah abu batu. Menurut SNI (1994), AASHTO (1981) dan Sukirman (2003) ketentuan tentang *filler* dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Spesifikasi pengujian bahan *filler*

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	<i>Filler</i>				
1	Material yang lolos saringan No. 200	SK SNI M-02-1994-03	%	70	-
2	Berat Jenis	AASHTO T-85 - 81	gr/cc	-	-

4. Pengujian Aspal

Metode penelitian/pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) dan Sukirman (2003) dengan ketentuan pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Spesifikasi pengujian bahan aspal AC 60/70

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
	Aspal				
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	0,1 mm	60	79
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	°C	48	58
3	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	°C	200	-
4	Titik Bakar	SNI 06-2433-1991	°C	-	-

No.	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
5	Berat Jenis	PA 0307 76	gr/cc	1	-

E. Pengujian Marshall

Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90. Dari hasil gambar hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, maka akan diketahui kadar aspal optimumnya. Pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan penimbangan agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing benda uji dengan berat campuran 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji 63,5 mm. Kemudian dilakukan pengeringan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu 105 °C.
2. Dalam penelitian ini terdapat 15 benda uji dan setiap 3 benda uji diberikan kadar aspal yang berbeda-beda dari 5% ; 5,5 % ; 6% ; 6,5 % ; 7 %.
3. Agregat dipanaskan di kotak *hopper* dengan suhu pencampuran 150 °C, sedangkan aspal dipanaskan dengan suhu 120 °C, kemudian aspal dicampur dengan agregat dengan suhu 150 °C dan diaduk merata

4. Setelah temperatur pemadatan tercapai, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan dan diolesi oli terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali di bagian tepi dan 10 kali di bagian tengah.
5. Dilakukan pemadatan bolak balik dengan menumbuk spesimen dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali karena disesuaikan dengan jenis lalu lintas yang direncanakan yaitu lalulintas berat.
6. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
7. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang berat benda uji kering (c).
8. Benda Benda uji dimasukkan ke dalam air bersuhu 25 °C selama 5 menit dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan Berat benda uji dalam air (d).
9. Benda uji dikeluarkan dari bak dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*, SSD) kemudian ditimbang (e).
10. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 60 °C selama 30 menit. Untuk uji perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu 60 °C selama 24 jam.
11. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.

12. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, lalu diletakkan tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian bagian atas kepala diletakkan dengan memasukkan lewat batang penuntun. Setelah pemasangan sudah lengkap maka diletakkan tepat di tengah alat pembebanan. Kemudian arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang padaudukan di atas salah satu batang penuntun. Sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
13. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
14. Pembebanan diberikan pada benda uji dengan kecepatan tetap 50,8 mm (2 in) permenit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan dicatat pembebanan maksimum.
15. Nilai pelelehan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan dicatat pada saat pembebanan maksimum tercapai.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1 Pemeriksaan Aspal

Bahan yang digunakan untuk campuran Beton aspal pada penelitian ini terdiri dari aspal AC 60/70, agregat kasar bantak, agregat halus bantak dan filler dari abu batu bantak. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60/70, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 9. dengan menggunakan spesifikasi Revisi SNI 03-1737-1989 dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Hasil pemeriksaan aspal AC 60/70.

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	AC 60/70		Satuan
			PT. Aspal Mitra	PT. Pertamina	
1	Penetrasi 25°	60-79	69,07	62,80	0.1 mm
2	Titik lembek	48-58	55,42	53	°C
3	Titik nyala	≥ 200	322,67	228	°C
4	Titik bakar	-	324,67	-	°C
5	Berat jenis Aspal	≥ 1	1.034	1,031	gr/cc

2. Pemeriksaan Agregat Bantak

Hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 10. berdasarkan spesifikasi Revisi SNI 03-1737-1989 dan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10:

Tabel 10. Hasil pemeriksaan agregat bantak

No	Jenis pemeriksaan	Sat.	Persyaratan		Hasil	
	Agregat Kasar Bantak		Min.	Mak.	Suhu Ruang 32°C	Suhu Ruang 25°C
1	Abrasi	%	-	40	34.57	
2	Berat jenis curah (bulk)	gr/cc	2.5	-	2.306	2,301
3	Berat jenis semu	gr/cc	2.5	-	2.377	2,372
4	Penyerapan air/absorpsi	%	-	3	3.100	
	Agregat Halus Bantak					
1	Berat jenis curah (bulk)	gr/cc	2.5	-	2.630	2,624
2	Berat jenis semu	gr/cc	2.5	-	2.903	2,897
3	Penyerapan air/absorpsi	%	-	3	3.573	
	Filler bantak					
1	Berat jenis	gr/cc	2.5	-	2.565	2,559

3. Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian marshall terhadap campuran beton aspal panas yaitu nilai kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), VMA (*voids in mineral aggregate*), VFA (*voids filled with asphalt*), VIM (*voids in the mix*), kelelahan (*flow*) dan Marshall *Quotient* (MQ) pada benda uji masing-masing kadar aspal 3 buah benda uji. Untuk mendapatkan nilai karakteristik aspal yang memenuhi semua persyaratan spesifikasi Revisi SNI 03-1737-1989, maka perlu dicari kadar aspal optimum ditentukan dengan cara percobaan pengujian marshall dengan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%. Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum seperti ditunjukkan pada Tabel 11 dibawah ini:

Tabel 11. Hasil pengujian Marshall

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Kadar aspal (%)				
			5	5,5	6	6,5	7
1.	Density (gr/cm ³)	-	2,31	2,31	2,32	2,33	2,33
2.	VMA (%)	>13	10,34	10,74	10,82	13,92	11,54
3.	VFB (%)	>60	9,27	24,10	38,60	60,10	66,14
4.	VIM (%)	3,5-5,5	9,39	8,20	6,67	5,20	4,20
5.	Stabilitas (kg)	>800	1320, 37	1363,5 0	1317,6 9	1156, 44	1100,6 1
6.	Flow (mm)	>3	2,97	3,00	3,03	3,07	3,10
7.	MQ(kg/mm)	>250	445,11	455,41	434, 32	377,28	354,58

B. Pembahasan

1. Pemeriksaan Aspal

Dari hasil pengujian aspal AC 60/70 yang ditunjukkan pada pembahasan sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Penetrasi Aspal AC 60/70

Dari hasil pemeriksaan penetrasi aspal AC 60/70 diperoleh nilai rata-rata penetrasi 69,07 dengan hasil tersebut maka nilai penetrasi aspal AC 60/70 memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, sehingga aspal AC 60/70 yang diperoleh dari PT. Aspal Mitra dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton aspal panas. Persyaratan yang ditentukan untuk penetrasi aspal adalah 60-79.

b. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal AC 60/70

Pemeriksaan titik lembek yang untuk mengukur batas kekerasan aspal dengan cara membebani dengan bola baja dan memanaskan didalam media air. Dari hasil pengujian diperoleh

nilai rata-rata suhu dari kondisi titik lembek adalah sebesar 55,42 °C dan masih dalam rentang batas suhu kondisi titik lembek yang disyaratkan yaitu antara 48-58 °C.

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal AC 60/70

Tujuan pemeriksaan suhu kondisi titik nyala dan titik bakar adalah untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan sifat sebagai akibat pemanasan yang terlalu tinggi serta untuk mengetahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Besarnya titik nyala yang disyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 minimal sebesar 200 °C dan dari hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala dan bakar rerata berturut-turut sebesar 322,67 °C dan 324,67 °C.

d. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal AC 60/70

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah $>1 \text{ gr/cc}$. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan hasil 1,037 gr/cc dengan suhu ruang 32°C, pada hasil koreksi dengan suhu ruang 25°C didapat hasil 1,034 gr/cc, sehingga aspal AC 60/70 yang diperoleh dari PT. Aspal Mitra Cilacap dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton aspal panas.

2. Pemeriksaan Agregat

a. Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar bantak yang ditunjukkan pada Tabel 10. bahwa agregat kasar bantak tidak memenuhi persyaratan dari SNI. Agregat kasar bantak dari merapi yang diambil dari PT. Calvary Abadi ternyata mempunyai nilai berat jenis curah pada suhu ruang 32°C sebesar 2,306 gr/cc, pada koreksi dengan suhu ruang 25°C didapat hasil sebesar 2,301 gr/cc atau lebih kecil dari batas minimal yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) sebesar 2,5 gr/cc, sedangkan penyerapan air sebesar 3,1 % lebih besar dari syarat maksimum (SNI) sebesar 3%.

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 34,57 % atau dibawah nilai yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu 40%.

b. Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus bantak, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus bantak memiliki nilai berat jenis curah sebesar 2,630 gr/cc, pada koreksi dengan suhu 25°C didapat hasil sebesar 2,624 gr/cc atau diatas batas minimum nilai berat jenis curah yang disyaratkan yaitu sebesar 2,5

gr/cc. Nilai penyerapan air agregat halus bantak menunjukkan nilai 3,573 % atau diatas nilai maksimum yang berarti melebihi nilai maksimum penyerapan air yang disyaratkan yaitu 3%.

c. *Filler*

Pada pemeriksaan berat jenis pada *filler* diperoleh nilai sebesar 2,565 gr/cc, pada koreksi dengan suhu ruang 25°C didapat hasil sebesar 2,559 gr/cc.

3. Pengujian Marshall

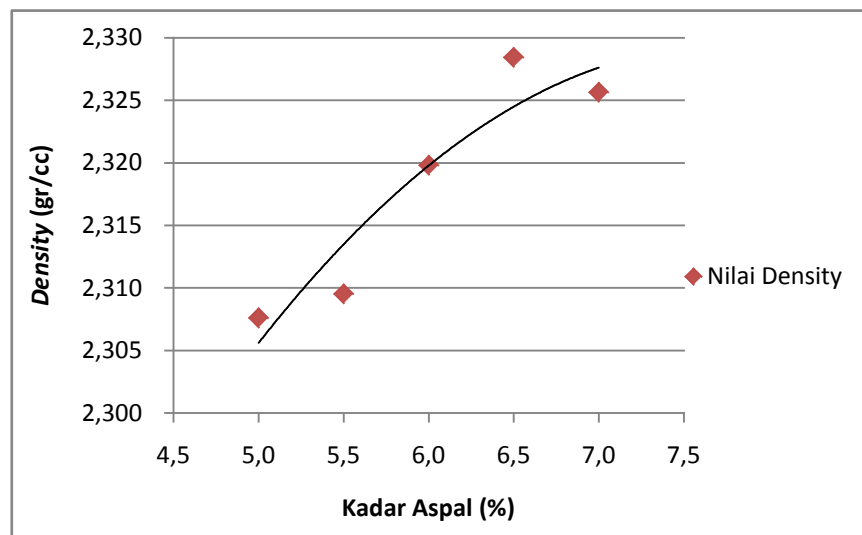
a. Kepadatan (*density*)

Kepadatan merupakan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume,. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualiiitas penyusunya dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukannya. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah. Berikut ini adalah tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan kepadatan (*density*).

Tabel 12. Hasil Pengujian Kepadatan (*density*).

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Density</i> (g/cc)
I	1	5,00	2,33
	2	5,00	2,29
	3	5,00	2,30
		Rata-rata	2,31

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Density</i> (gr/cc)
II	1	5,50	2,26
	2	5,50	2,35
	3	5,50	2,32
		Rata-rata	2,31
III	1	6,00	2,35
	2	6,00	2,32
	3	6,00	2,29
		Rata-rata	2,32
IV	1	6,50	2,36
	2	6,50	2,34
	3	6,50	2,29
		Rata-rata	2,33
V	1	7,00	3,34
	2	7,00	2,39
	3	7,00	2,25
		Rata-rata	2,33



Gambar 19. Grafik Hubungan Kepadatan (*Density*) dan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 19 di atas, pada Kadar Aspal 5% yaitu dengan rerata nilai 2,31%. Pada setiap penambahan kadar aspal nilai *density* mengalami peningkatan, pada kadar aspal 5,5%

sebesar 0,002%. Kadar aspal 6% sebesar 0,01%, kadar aspal 6,5% sebesar 0,009%, pada kadar aspal 7% mengalami penurunan sebesar 0,003%. Nilai *density* tertinggi terdapat pada kadar aspal 6,5% dengan nilai sebesar 2,33%

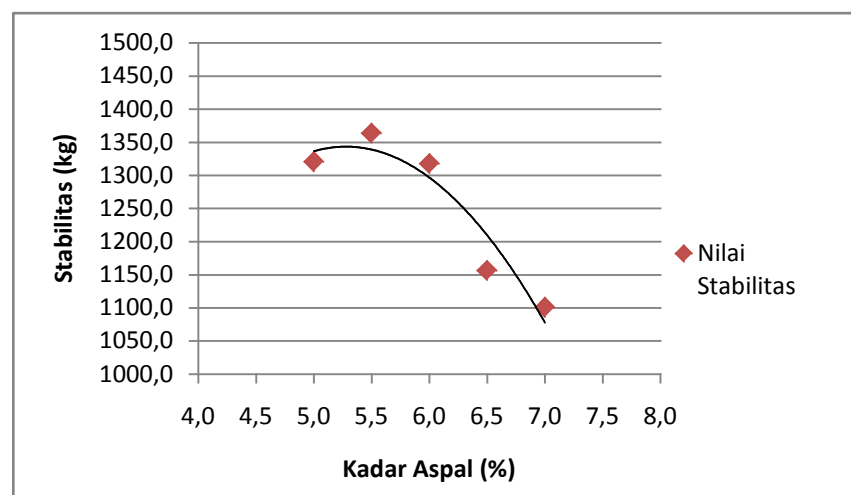
b. Stabilitas

Stabilitas campuran dalam pengujian marshall ditunjukan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka tebal benda uji. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar butir agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kadar aspal juga berpengaruh.

Tabel 13. Hasil Pengujian Stabilitas Marshall.

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (kg)
I	1	5,00	1305,822
	2	5,00	1353,823
	3	5,00	1301,453
		Rata-rata	1320,37
II	1	5,50	1277,526
	2	5,50	1432,073
	3	5,50	1380,899
		Rata-rata	1363,50
III	1	6,00	1341,955
	2	6,00	1242,723
	3	6,00	1368,382
		Rata-rata	1317,69

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (kg)
IV	1	6,50	1180,847
	2	6,50	1207,938
	3	6,50	1080,528
		Rata-rata	1156,44
V	1	7,00	992,362
	2	7,00	1114,294
	3	7,00	1195,164
		Rata-rata	1100,61



Gambar 20. Grafik hubungan kadar stabilitas dan kadar aspal.

Dari gambar 20 hubungan stabilitas dan kadar aspal di atas, pada penambahan kadar aspal 5,5% mengalami peningkatan sebesar 3,27%, kemudian pada penambahan kadar aspal 6%, 6,5% dan 7% nilai stabilitas berturut-turut mengalami penurunan sebesar 3,36%, 15,19% dan 19,28% terhadap nilai stabilitas 5,5% .Nilai stabilitas Marshall Optimum tercapai pada campuran beton aspal dengan kadar aspal 5,5% dengan hasil rerata nilai stabilitas sebesar 1363,50 kg.

Berdasarkan Revisi SNI 03-1737-1989 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian Proyek Akhir ini memenuhi persyaratan.

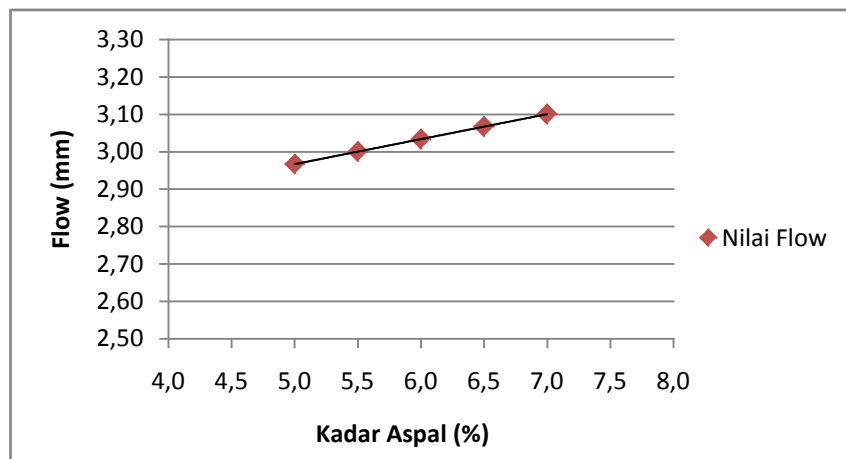
c. *Flow*

Flow atau kelelehan menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Penurunan atau deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan nilai karakteristik *Marshall* lainnya, seperti VFB (*Vold Filled Bitumen*), VIM (*Void In Mix*) dan stabilitasnya. Nilai *flow* dipengaruhi antara lain oleh gradasi agregat, kadar aspal dan proses pemadatan yang meliputi suhu pemadatan dan energi pemadatan.

Campuran yang memiliki nilai kelelehan (*Flow*) yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi kaku dan getas (*brittle*), sedangkan campuran yang memiliki nilai kelelehan (*Flow*) yang tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas. Aspal terdiri dari dua komponen utama yaitu *asphalteness* dan *malteness*. *Asphalteness* yang memberikan warna coklat atau hitam pada aspal sedangkan *malteness* dan *oil* yang juga akan mempengaruhi nilai *flow*.

Tabel 14. Hasil pengujian *flow*

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Flow</i> (mm)
I	1	5,00	3,00
	2	5,00	3,00
	3	5,00	2,90
		Rata-rata	2,97
II	1	5,50	3,10
	2	5,50	2,90
	3	5,50	3,00
		Rata-rata	3,00
III	1	6,00	3,00
	2	6,00	3,00
	3	6,00	3,10
		Rata-rata	3,03
IV	1	6,50	3,00
	2	6,50	3,10
	3	6,50	3,10
		Rata-rata	3,07
V	1	7,00	3,00
	2	7,00	3,10
	3	7,00	3,20
		Rata-rata	3,10

Gambar 21. Grafik hubungan *flow* dan kadar aspal

Pada penambahan kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% nilai *flow* mengalami peningkatan berturut-turut yaitu sebesar 1,12%,

2,25%, 3,37% dan 4,49% terhadap kadar aspal 5%. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai *flow* juga semakin meningkat. Dari besarnya nilai *flow* tertinggi terdapat pada kadar aspal 7% dengan rerata sebesar 3,10 mm. Sedangkan jika ditinjau dari Revisi SNI 03-1737-1989 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai *flow* harus >3mm. Nilai *flow* yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 6%, 6,5% dan 7%.

d. *Void Filled Bitumen*

VFB (*Void Filled Bitumen*), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedap air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: energi, suhu pemadatan, jenis dan kadar aspal, serta gradasi agregatnya.

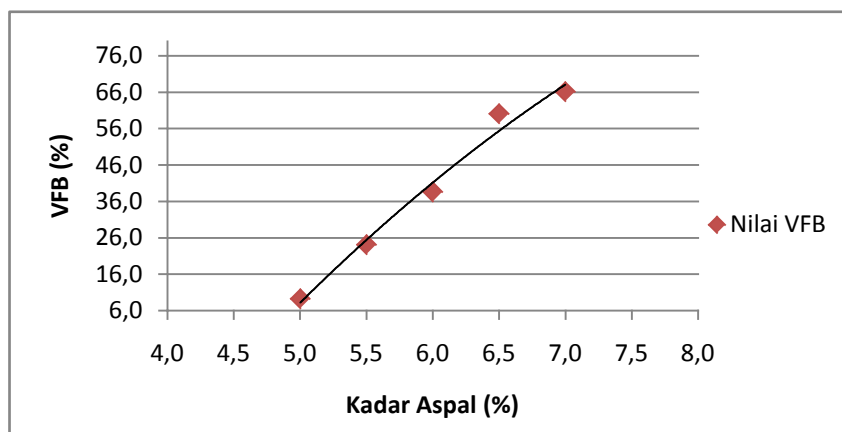
Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal kepermukaan.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedap campuran terhadap air berkurang karena

sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.

Tabel 15. Hasil pengujian VFB (*Void Filled Bitumen*)

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai VFB (%)
I	1	5,00	10,13
	2	5,00	8,67
	3	5,00	9,01
		Rata-rata	9,27
II	1	5,50	19,59
	2	5,50	27,58
	3	5,50	25,13
		Rata-rata	24,10
III	1	6,00	42,81
	2	6,00	38,67
	3	6,00	34,31
		Rata-rata	38,60
IV	1	6,50	60,02
	2	6,50	75,20
	3	6,50	45,07
		Rata-rata	60,10
V	1	7,00	66,50
	2	7,00	82,44
	3	7,00	49,48
		Rata-rata	66,14



Gambar 22. Grafik hubungan VFB dan kadar aspal.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) pada kadar aspal 5% sebesar 9,27%, pada setiap penambahan kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) mengalami peningkatan berturut-turut yaitu sebesar 24,10%, 38,60%, 60,10% dan 66,14%. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal VFB (*Void Filled Bitumen*) semakin meningkat. Dari grafik nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) tertinggi didapat pada kadar aspal 7% dengan nilai sebesar 66,14%.

Dari persyaratan RSNI 03-1737-1989 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) harus >60%. Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 6,5% dan 7% memenuhi persyaratan dengan nilai sebesar 60,10% dan 66,14%.

e. *Void In Mix* (VIM)

VIM (*Void In Mix*) adalah banyaknya rongga dalam campuran yang dinyatakan dalam prosentase. Rongga udara yang terdapat dalam campuran diperlukan untuk tersedianya ruang gerak untuk unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisnya. Karena itu nilai VIM sangat menentukan karakteristik campuran. Nilai VIM (*Void In Mix*) dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan *density*.

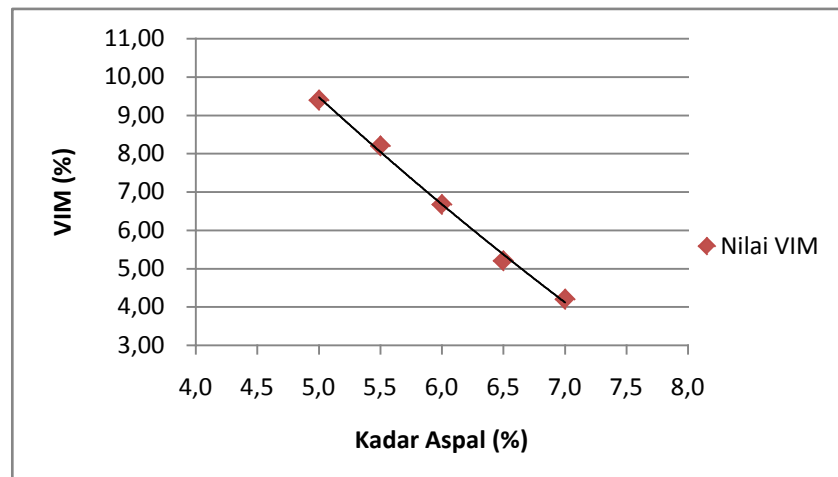
Jika nilai VIM (*Void In Mix*) yang terlalu tinggi berkurangnya keawetan dari lapis keras karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan. Udara akan mengoksidasi aspal sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Jika hal ini terjadi akan menimbulkan pelepasan butiran (*raveling*), sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat.

Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan mudah terjadinya *bleading* pada lapis keras. Selain *bleading*, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak (*cracking*) apabila menerima beban lalu lintas karena tidak cukup lentur untuk menerima *deformasi* yang terjadi.

Tabel 16. Hasil pengujian VIM (*Void In Mix*)

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai VIM (%)
I	1	5,00	8,55
	2	5,00	9,99
	3	5,00	9,62
		Rata-rata	9,39
II	1	5,50	10,20
	2	5,50	6,78
	3	5,50	7,62
		Rata-rata	8,20
III	1	6,00	5,60
	2	6,00	6,58
	3	6,00	7,84
		Rata-rata	6,67
IV	1	6,50	3,89
	2	6,50	4,83
	3	6,50	6,89
		Rata-rata	5,20

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai VIM (%)
V	1	7,00	3,72
	2	7,00	1,61
	3	7,00	7,26
		Rata-rata	4,20



Gambar 23. Grafik hubungan kadar aspal dan VIM (*Void In Mix*).

Dari Gambar 23 di atas diperoleh nilai VIM (*Void In Mix*) pada kadar aspal 5% dengan rerata 9,39%, pada penambahan kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7 % nilai VIM (*Void In Mix*) mengalami penurunan berturut-turut dengan rerata 8,20%, 6,67%, 5,20% dan 4,20%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan semakin menurun nilai VIM (*Void In Mix*). Dari grafik didapat nilai VIM (*Void In Mix*) yang tertinggi yaitu pada kadar aspal 5% dengan rerata 9,39%.

Berdasarkan persyaratan Revisi SNI 03-1737-1989 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VIM (*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3,5%-5,5%. Nilai VIM

(*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 6,6% dan 7% dengan rerata sebesar 5,20% dan 4,20

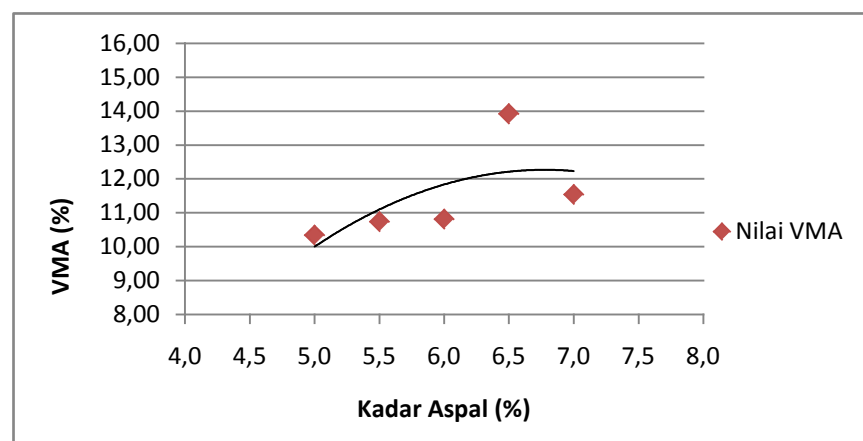
f. VMA (*Void In Mineral Aggregate*)

VMA (*Void In Mineral Aggregate*) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah didapatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 17. Hasil pengujian VMA (*Void In Mineral Aggregate*)

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai VMA (%)
I	1	5,00	9,52
	2	5,00	10,94
	3	5,00	10,57
		Rata-rata	10,34
II	1	5,50	12,69
	2	5,50	9,36
	3	5,50	10,18
		Rata-rata	10,74
III	1	6,00	9,79
	2	6,00	10,73
	3	6,00	11,93
		Rata-rata	10,82

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Nilai VMA (%)
IV	1	6,50	9,73
	2	6,50	19,47
	3	6,50	12,55
		Rata-rata	13,92
V	1	7,00	11,10
	2	7,00	9,15
	3	7,00	14,38
		Rata-rata	11,54



Gambar 24. Grafik hubungan VMA dan kadar aspal

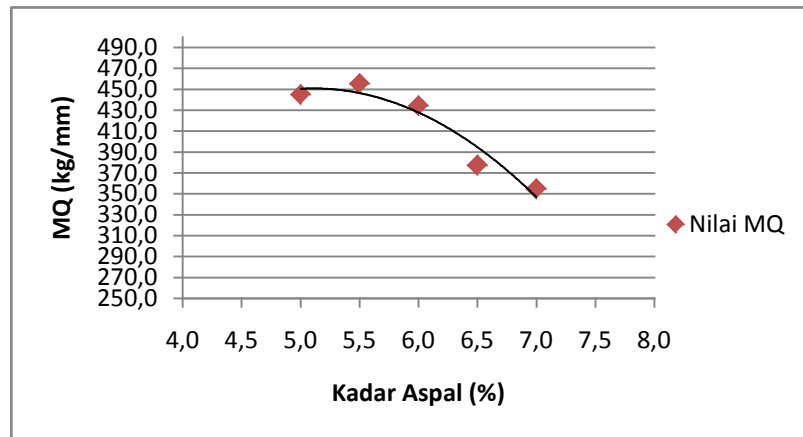
Nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) pada kadar aspal 5% dengan rerata sebesar 10,34%, pada penambahan kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5% mengalami kenaikan sebesar 10,74%, 10,82% dan 13,92%. Sedangkan pada penambahan kadar aspal 7% mengalami penurunan dengan rerata sebesar 11,54%. Ditinjau dari Revisi SNI 03-1737-1989 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) minimal sebesar >13%, jadi nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 6,5% dengan rerata sebesar 13,92%.

g. Marshall *Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* (QM) berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient* (QM) maka perkerasannya semakin lentur.

Tabel 18. Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ)

Notasi	Benda Uji	Kadar Aspal (%)	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
I	1	5,00	435,27
	2	5,00	451,27
	3	5,00	448,78
		Rata-rata	445,11
II	1	5,50	412,11
	2	5,50	493,82
	3	5,50	460,30
		Rata-rata	455,41
III	1	6,00	447,32
	2	6,00	414,24
	3	6,00	441,41
		Rata-rata	434,32
IV	1	6,50	393,62
	2	6,50	389,66
	3	6,50	348,56
		Rata-rata	377,28
V	1	7,00	330,79
	2	7,00	359,45
	3	7,00	373,49
		Rata-rata	354,58

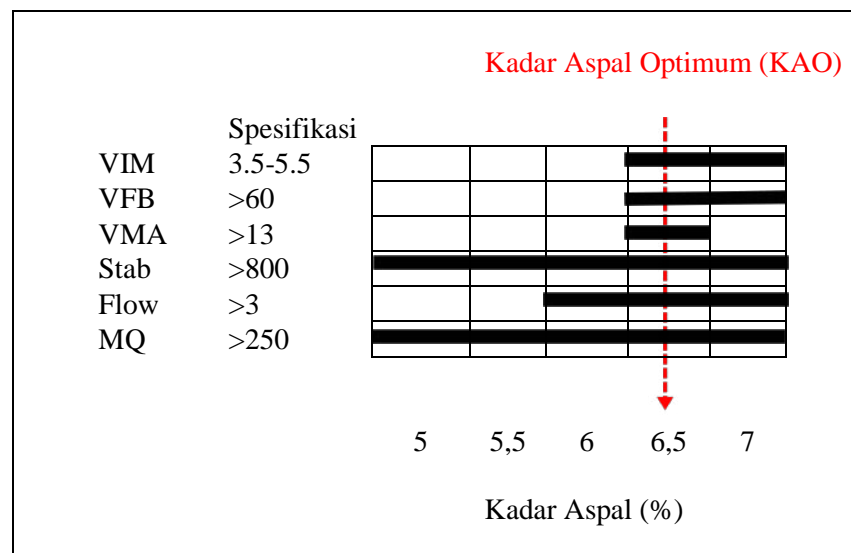


Gambar 25. Grafik hubungan MQ (*Marshall Quotient*) dan kadar aspal.

Dari Gambar 25. hubungan MQ (*Marshall Quotient*) dan kadar aspal, pada penambahan kadar aspal 5,5% mengalami kenaikan sebesar 2,31%, kemudian pada penambahan kadar aspal 6%, 6,5% dan 7% nilai MQ (*Marshall Quotient*) berturut-turut mengalami penurunan sebesar 4,63%, 17,16% dan 22,14% terhadap kadar aspal 5,5%. Dari gambar 25 menunjukkan bahwa campuran beton aspal dengan kadar aspal 5,5% memiliki nilai MQ (*Marshall Quotient*) maksimum yaitu 455,10 kg/mm. Secara keseluruhan campuran beton aspal menggunakan agregat bantak memenuhi syarat MQ berdasarkan Revisi SNI 03-1737-1989 yaitu > 250 kg/mm.

h. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat tercapai mencapai persyaratan Stabilitas, *Flow*, *VMA*, *VIM*, *density* dan *Marshall Quotient*. Penentuan kadar aspal optimum untuk menetapkan besarnya kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama tetapi dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan.



Gambar 26. Grafik penentuan Kadar Aspal Optimum.

- 1) Nilai VIM memenuhi syarat pada kadar aspal 6,5% dan 7%.
- 2) Nilai VFB memenuhi syarat pada kadar aspal 6,5% dan 7%.
- 3) Nilai VMA yang memenuhi syarat yaitu pada kadar aspal 6,5%.
- 4) Kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi syarat nilai stabilitas.

- 5) Pada kadar Aspal 6%, 6,5% dan 7% memenuhi persyaratan nilai *Flow* yang ditentukan.
- 6) Pada nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) kadar aspal 6,5% memenuhi semua persyaratan VIM, VFB, Stabilitas, *Flow* dan MQ.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kadar aspal optimum untuk digunakan sebagai campuran aspal beton dengan menggunakan AC 60/70 dan agregat Bantak adalah kadar aspal 6,5%.
2. Hasil pengujian karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum 6,5% adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai *Density* diperoleh sebesar 2,33 gr/cc.
 - b. Nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) sebesar 13,92%.
 - c. Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) sebesar 60,10%.
 - d. Nilai VIM (*Void In Mix*) sebesar 5,2%.
 - e. Nilai *Stabilitas* Marshall sebesar 1156,44 kg.
 - f. Nilai *Flow* (kelelehan) sebesar 3,07 mm.
 - g. Marshall Quotient diperoleh sebesar 377,28 kg/mm

B. Saran

1. Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang “Optimasi Kadar Aspal Beton AC 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lalu Lintas Berat Menggunakan Material Lokal Bantak” dengan komposisi campuran yang berbeda.

2. Diperlukan penelitian untuk jenis konstruksi perkerasan jalan yang lain dengan menggunakan bahan pengikat aspal AC 60/70 dan material lokal bantak lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Paryanto, dkk. *Pedoman Proyek Akhir D3*. Yogyakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Putrowijoyo, R. 2006. *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler*. Semarang: Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Rahmat, 2010. *Pemanfaatan Bantak Sebagai Agregat Kasar dan Asbuton Lawele sebagai Agregat Halus Pada Lapis AC-Base*. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Revisi SNI 03-1737-1989. *Pedoman Tentang "Pelaksanaan lapis campuran beraspal panas" adalah pengganti dari SNI 03-1737-1989, Tata cara pelaksanaan laapis aspal beton (LASTON) untuk jalan raya*: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Revisi SNI 06-2456-1991. *Uji Penetrasi Aspal*: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Revisi SNI 06-2434-1991. *Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball)*: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Ruhaidani, E. 2010. *Pemanfaatan Bantak Sebagai Agregat Kasar dan Asbuton Lawele sebagai Agregat Halus Pada Lapis HRS-Base*. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- RSNI M-01-2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2417-1991. *Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 06-2441-1991. *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal*: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

- SNI 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2490-2008. *Cara Uji Kadar Air Dalam Produk Minyak dan Bahan Mengandung Aspal Dengan Cara Penyulingan*: Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Wahyudi, H. 2003. *Evaluasi Sifat Marshall dan Nilai Struktural Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Esso Pen 60/70*: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Yusuf, Dahlan. 2011. *Pengaruh Perbaikan Agregat Kasar Bantak Dengan Menggunakan campuran AC-Base*. Yogyakarta: Magister Sistem dan teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.