

SKRIPSI

KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL
ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN
AGREGAT HALUS UNTUK PANAS ASPHALT CONCRETE
WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN



Disusun Oleh:

AIMAD H. HAMSYAH

13.21.319

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL ALTERNATIF
(SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS UNTUK PANAS
ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN**

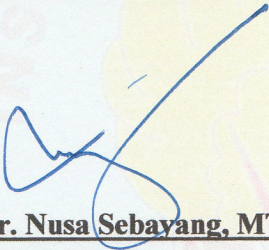
*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :
AHMAD ILHAMSYAH
13.21.119

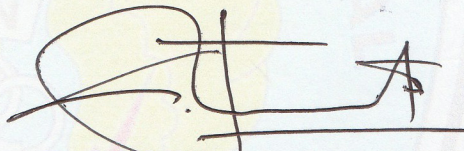
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT



Ir. Eding Iskak Imananto, MT

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil S1
Institut Teknologi Nasional Malang**



Ir. A. Agus Santosa, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL ALTERNATIF
(SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS UNTUK PANAS
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN**

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)*

Pada hari : Senin

Tanggal : 07 Agustus 2017

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

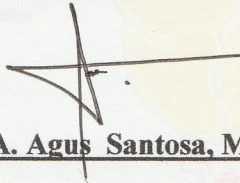
AHMAD ILHAMSYAH

NIM. 13.21.119

Disahkan Oleh :

Ketua Program Studi

Teknik Sipil S-1



Ir. A. Agus Santosa, MT

Sekretaris Program Studi

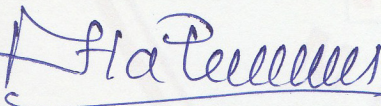
Teknik Sipil S-1



Ir. Munasih, MT

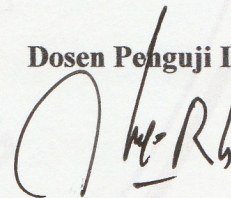
Anggota Penguji :

Dosen Penguji I



Ir. Togi H. Nainggolan, MS

Dosen Penguji II



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2017**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONALMALANG
KAMPUS I : Jln. Bendungan Sigura- gura No. 02 Telp. (0341) 551431 ex.230 MALANG
KAMPUS II : Jln. Raya Karanglo, Km. 2 Telp. (0341) 417636 MALANG

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Ilhamsyah
NIM : 13.21.119
Program Studi : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul : ***“KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS UNTUK PANAS ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN”*** Adalah asli karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyandur karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber asli dan tercantum dalam daftar pustaka.

Malang, 30 Agustus 2017

Yang membuat pernyataan



Ahmad Ilhamsyah
13.21.119

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1991, *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*, SK SNI M- 58-1990-03, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Faisal, Sofyan M. Shaleh, M. Isya, (2014), *Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen. 60/70 Dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4.*
- Herman Fithra, (2011), *Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Pada Campuran Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*
- I Nyoman Karnata Mataram, I Nyoman Arya Thanaya, I Gusti Putu Suparsa, Luh Gede Noviana Dewi, (2015), *Kajian Karakteristik Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas A Dengan Crumb Rubber 40 Mesh Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus*, Udayana, Bali
- Republik Indonesia Departemen Perkerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, (2009) *Spesifikasi Khusus Seksi 5.7, Lapis Pondasi Pasir Aspal (Skh-1.5.7)*
- Sentot Hardwiyono, (2012), *Pengaruh Penambahan Parutan Karet Ban Gradasi Tipe 2 Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik vol.15, No 2, 149-158
- Silvia Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas ; edisi 1. Jakarta : Granit*
- Standar Nasional Indonesia, SNI. 2003. *Metoda Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*, RSNI M-01-2003, Badan Standar Nasional Indonesia.
- Subaganata, B, (2012), *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Terhadap Kinerja Campuran Aspal Panas Jenis Hot Rolled Sheet (HRS)*. Universitas Darwan Ali. Vol 2 Edisi Mei 2012 – A
- Sudjana, *Metoda Statistika. Cet.1. Bandung : Tarsito, 2005*
- Sugiyanto, G, (2008), *Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas*, *Jurnal Teknik Sipil. UNSOED* Volume 8 No. 2(Purwokerto, hal. 91-104)

SKRIPSI

**KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL
ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI CAMPURAN
AGREGAT HALUS UNTUK PANAS ASPHALT CONCRETE
WEARING COURSE (AC-WC) PERKERASAN JALAN**



Disusun Oleh:

AHMAD ILHAMSYAH

13.21.119

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TELNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2017

ABSTRAK

**KINERJA PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH MATERIAL
ALTERNATIF (SERBUK BAN) SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT
HALUS UNTUK CAMPURAN PANAS *ASPHALT CONCRETE WEARING
COURSE (AC-WC)* PERKERASAN JALAN
(Ahmad Ihamsyah : 2017)(Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT
dan Ir. Eding Iskak Imananto, MT)**

Kata kunci : Beton aspal, Asphalt Concrete, Serbuk ban, Karakteristik *Marshall*

Seiring dengan pesatnya laju pertumbuhan perekonomian dan jumlah penduduk, maka banyak permasalahan mengenai dampak yang mendorong semakin meningkatnya aktifitas kegiatan transportasi. Peningkatan jumlah kendaraan yang pesat ini mengakibatkan kebutuhan akan ban kendaraan menjadi meningkat. Oleh karena itu, perlu adanya solusi dan inovasi untuk mengatasi ban kendaraan bekas, yaitu dengan cara mengolah ban kendaraan bekas menjadi serbuk ban. Serbuk ban ini kemudian digunakan sebagai bahan alternatif pengganti agregat halus dengan harapan mampu berpengaruh terhadap campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc).

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dibagi dua tahapan tahap pertama mencari kadar aspal optimum dengan jumlah benda uji 25 buah dengan variasi kadar aspal (5,0%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%) dan tahap kedua mencari kadar serbuk optimum dengan jumlah benda uji 25 buah dengan kadar serbuk ban (0%, 10%, 20% , 30%, 40%). Serbuk ban diperoleh dari tempat Vulkanisir di Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Varian kadar serbuk ban sebagai substitusi agregat halus terhadap volume agregat halus yang lolos saringan mesh #16. Parameter nilai karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* dilakukan untuk pengujian untuk mendapatkan nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, MQ, VFA dan Indeks Perendaman. Data yang didapatkan kemudian dianalisis dengan diuji secara metode statistik, dipakai uji hipotesis, dievaluasi dan didapatkan kesimpulan akhir yang sesuai dengan spesifikasi Depkimpraswil 2002

Pada variasi kadar aspal optimum didapatkan nilai optimum sebesar 6,15% dengan nilai stabilitas 982,49 Kg dan kadar serbuk ban optimum sebesar 20% dari berat total agregat halus atau 3,9% terhadap berat total campuran dengan didapatkan nilai stabilitas sebesar 1066,19 Kg (>83,7 Kg dari stabilitas tanpa kadar serbuk ban). Pada variasi kadar aspal optimum didapatkan nilai kadar optimum sebesar 6,15% dengan nilai Stabilitas 982,49 Kg, Flow 3,33 mm, VIM 5,16%, VMA 19,27%, MQ 275,73 Kg/mm, VFA 69,91%, IP 97,50%. Sedangkan dengan menggunakan kadar serbuk ban optimum sebesar 20% dengan nilai Stabilitas 1066,19 Kg, Flow 3,20 mm, VIM 4,83 %, VMA 18,40 %, MQ 321,77 Kg/mm, VFA 73,59 %, IP 91,94 %. Dengan demikian serbuk ban dapat digunakan sebagai bahan tambah material alternatif untuk campuran agregat halus panas *Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* perkerasan jalan.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi dengan baik.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan gelar strata satu (S-1), Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan. Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA, selaku Rektor ITN Malang
2. Bapak Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
4. Bapak Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT selaku Pembimbing Skripsi 1 (satu)
5. Bapak Ir. Eding Iskak Imananto, MT selaku Pembimbing Skripsi 2 (dua)
6. Bapak Moh. Erfan, ST, MT, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang
7. Bapak M. Mahfud, selaku Asisten Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang
8. Orang tua kami yang masing-masing telah mendukung kami lewat materi dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman yang telah memberi semangat, dukungan dan doa untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa pada skripsi ini, mungkin masih banyak kekurangan ataupun kesalahan. Oleh karena itu, penyusun selalu mengharapkan saran, petunjuk, kritik dan bimbingan yang bersifat membangun, demi kelanjutan kami selanjutnya.

Malang, / 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABTRAKSI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xviii
DAFTAR GAMBAR	xixi
DAFTAR NOTASI	xxi
DAFTAR ISTILAH	xxii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Hipotesis Penelitian.....	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.2 Penelitian terdahulu.....	8
2.2 Kontruksi Lapisan Perkerasan Jalan	9
2.2.1 Lapisan Permukaan (<i>Surface course</i>)	11

2.2.2 Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	14
2.2.2 Lapisan Pondasi Bawah (<i>Sub Base Coarse</i>)	17
2.2.2 Lapisan Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>).....	18
2.3 Lapisan beton <i>asphalt concrete wearing course (Ac-Wc)</i>	19
2.4 Material Penyusun Perkerasan Jalan	21
2.4.1 Agregat.....	21
2.4.2 Persyaratan Agregat	24
2.4.3 Gradasi Agregat	27
2.4.4 Spesifikasi Gradasi Agregat lapis Ac-Wc.....	29
2.4.5 Aspal	31
2.4.5.1 Aspal Keras	34
2.4.6 Bahan Tambah Material	36
2.4.6.1 Bahan anti pengelupasan.....	37
2.4.6.2 Ban Karet	38
2.5 Karakteristik <i>Marshall</i>	38
2.5.1 Pengujian <i>Marshall</i>	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Operasional penelitian.....	48
3.2 Ruang lingkup penelitian	48
3.3 Tempat penelitian.....	49
3.4 Perancangan penelitian.....	49
3.5 Persiapan peralatan pengujian.....	49
3.6 Bahan yang digunakan	50
3.7 Populasi sampel.....	51
3.8 Metode pengujian material aspal	56
3.9 Metode pengujian material agregat.....	57
3.10 Persiapan benda uji	60

BAB IV HASIL PENGUJIAN MATERIAL AGREGAT DAN ASPAL

4.1 Hasil Pengujian Agregat	68
4.1.1 Pengujian Agregat Tumbukan (<i>Impact Value</i>)	68
4.1.1.2 Hasil Pengujian.....	69
4.1.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan (<i>Flakines Indeks</i>)	70
4.1.2.1 Maksud	70
4.1.2.2 Hasil Pengujian.....	71
4.1.3 Pengujian Angka Angularitas (<i>Angularity Number</i>).....	72
4.1.3.1 Maksud	72
4.1.3.2 Hasil Pengujian.....	73
4.1.4 Pengujian Berat Isi Agregat	75
4.1.4.1 Maksud	75
4.1.4.2 Hasil Pengujian.....	76
4.1.5 Pengujian Analisa Saringan Kasar, Sedang dan Halus	78
4.1.5.1 Maksud	78
4.1.5.2 Hasil Pengujian.....	78
4.1.6 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	80
4.1.6.1 Maksud	80
4.1.6.2 Hasil Pengujian.....	81
4.1.7 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	83
4.1.7.1 Maksud	83
4.1.7.2 Hasil Pengujian.....	84
4.1.8 Pengujian Keausan Agregat Dengan Alat Abrasi <i>Los Angles</i>	87
4.1.8.1 Maksud	87

4.1.8.2 Hasil Pengujian	88
4.2 Hasil Pengujian Aspal.....	89
4.2.1 Pengujian Penetrasi Aspal.....	89
4.2.1.1 Maksud.....	89
4.2.1.2 Hasil Pengujian	90
4.2.2 Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar	92
4.2.2.1 Maksud	92
4.2.2.2 Hasil Pengujian.....	93
4.2.3 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter.....	94
4.2.3.1 Maksud.....	94
4.2.3.2 Hasil Pengujian	96
4.2.4 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal	97
4.2.4.1 Maksud.....	97
4.2.4.1 Hasil Pengujian	99
4.2.5 Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter	100
4.2.5.1 Maksud	100
4.2.5.2 Hasil Pengujian.....	101
4.2.6 Hasil Pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal.....	102
4.2.6.1 Maksud	102
4.2.6.2 Hasil Pengujian.....	103
4.3 Perencanaan Komposisi Campuran.....	105
4.3.1 Perhitungan Presentase Agregat Dengan Metode Grafis	105
4.4 Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal.....	107
4.5 Marshall Test.....	112
4.5.1 Maksud dan Tujuan.....	112

4.5.1 Hasil Pengujian	112
-----------------------------	-----

BAB V ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)	113
5.1.1 Data Hasil Test Marshall	114
5.1.2 Perhitungan Interval Kepercayaan Mencari Kadar Aspal Optimu..	117
5.1.3 Perhitungan Indeks Perendaman Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)	123
5.1.4 Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	123
5.2 Perhitungan Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum	132
5.2.1 Perhitungan Interval Kepercayaan Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum	135
5.2.2 Perhitungan Indeks Perendaman Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum	141
5.2.3 Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KAO).....	141
5.3 Uji Hipotesis	
5.3.1 Uji Hipotesis Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	150
5.3.1.1 Analisa Varian Data Stabilitas	150
5.3.1.2 Analisa Varian Data Flow	151
5.3.1.3 Analisa Varian Data VIM.....	153
5.3.1.5 Analisa Varian Data VMA	154
5.3.1.6 Analisa Varian Data MQ	156
5.3.1.7 Analisa Varian Data VFA	157
5.3.1.8 Analisa Varian Data Indeks Perendaman.....	159
5.3.2 Uji Hipotesis Variasi Kadar Serbuk Ban	160
5.3.1.1 Analisa Varian Data Stabilitas	161

5.3.1.2 Analisa Varian Data Flow	162
5.3.1.3 Analisa Varian Data VIM.....	164
5.3.1.5 Analisa Varian Data VMA	165
5.3.1.6 Analisa Varian Data MQ	166
5.3.1.7 Analisa Varian Data VFA	168
5.3.1.1 Analisa Varian Data Indeks Perendaman.....	169
5.4 Pembahasan.....	171
5.4.1 Stabilitas.....	171
5.4.2 Flow	173
5.4.3 VIM.....	175
5.4.4 VMA	177
5.4.5 MQ	179
5.4.6 VFA.....	181
5.4.7 Indeks Perendaman	183
5.4.8 Kadar Serbuk Ban Optimum.....	184

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan	185
----------------------	-----

6.1 Saran.....	186
----------------	-----

DAFTAR PUSTAKA	187
-----------------------------	------------

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ukuran Saringan ASTM	16
Tabel 2.2 Sifat Campuran Aspal Beton Aspal	21
Tabel 2.3 Spesifikasi Agregat Beton Aspal	24
Tabel 2.4 Syarat Gradasi Filler	26
Tabel 2.5 Spesifikasi Gradasi Bina Marga 2010.....	29
Tabel 2.6 Spesifikasi Aspal Keras	35
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Aspal Optimum 30 Menit	52
Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Aspal Optimum 24 Jam.....	53
Tabel 3.3 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum 30 menit	54
Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum 24 jam	55
Tabel 3.5 Viscositas Aspal.....	61
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Impact Value</i>	68
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan	70
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Angularitas</i>	72
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat	75
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	78
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang	79
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	79
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	81
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	84
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Keausan Dengan Alat <i>Abrasi Los Angles</i>	87
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sebelum Kehilangan Berat	89
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat	90
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar	92
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter Sebelum Kehilangan Berat	94

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter Setelah Kehilangan Berat	95
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat	97
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat.....	98
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter	100
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Penurunan Berat Minyak dan Aspal	102
Tabel 4.20 Komposisi Campuran Persentase Agregat Spesifikasi Ac-Wc	106
Tabel 4.21 Perencanaan Komposisi Campuran	109
Tabel 4.22 Perencanaan Komposisi Campuran Serbuk Ban.....	110
Tabel 5.1 Perhitungan Test Marshall 30 Menit Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	114
Tabel 5.2 Perhitungan Test Marshall 24 Jam Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	115
Tabel 5.3 Nilai Untuk Mencari Simpangan Baku	117
Tabel 5.4 Interval Kepercayaan Data Stabilitas	119
Tabel 5.4.1 Validasi Data Stabilitas	119
Tabel 5.5 Interval Kepercayaan Data Flow.....	119
Tabel 5.5.1 Validasi Data Flow.....	119
Tabel 5.6 Interval Kepercayaan Data VIM	120
Tabel 5.6.1 Validasi Data VIM	120
Tabel 5.7 Interval Kepercayaan Data VMA	120
Tabel 5.7.1 Validasi Data VMA	120
Tabel 5.8 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient.....	121
Tabel 5.8.1 Validasi Data Marshall Quotient.....	121
Tabel 5.9 Interval Kepercayaan Data VFA.....	121
Tabel 5.9.1 Validasi Data VFA.....	121
Tabel 5.10 Interval Kepercayaan Data Stabilitas 24 Jam	122
Tabel 5.4 Validasi Data Stabilitas 24 Jam	122
Tabel 5.11 Rata-rata Hasil Pengujian Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validasi Data	122
Tabel 5.12 Data Hasil Indeks Perendaman	125

Tabel 5.13 Perhitungan Dengan Metode Regresi	130
Tabel 5.14 Daftar Nilai Yang Perlu Menentukan Regresi	131
Tabel 5.15 Perhitungan Test Marshall 30 Menit Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)	132
Tabel 5.16 Perhitungan Test Marshall 24 Jam Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)	133
Tabel 5.17 Nilai Untuk Mencari Simpangan Baku	135
Tabel 5.18 Interval Kepercayaan Data Stabilitas	137
Tabel 5.18.1 Validasi Data Stabilitas	137
Tabel 5.19 Interval Kepercayaan Data Flow	137
Tabel 5.19.1 Validasi Data Flow	137
Tabel 5.20 Interval Kepercayaan Data VIM	138
Tabel 5.20.1 Validasi Data VIM	138
Tabel 5.21 Interval Kepercayaan Data VMA	138
Tabel 5.21.1 Validasi Data VMA	138
Tabel 5.22 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient	139
Tabel 5.22.1 Validasi Data Marshall Quotient	139
Tabel 5.23 Interval Kepercayaan Data VFA	138
Tabel 5.23.1 Validasi Data VFA	138
Tabel 5.24 Interval Kepercayaan Data Stabilitas 24 Jam	140
Tabel 5.24.1 Validasi Data Stabilitas 24 Jam	140
Tabel 5.25 Rata-rata Hasil Pengujian Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validasi Data	140
Tabel 5.26 Data Hasil Indeks Perendaman	141
Tabel 5.27 Perhitungan Dengan Metode Regresi	148
Tabel 5.28 Daftar Nilai Yang Perlu Menentukan Regresi	149
Tabel 5.29 Analisa Varian Data Stabilitas	150
Tabel 5.29.1 Daftar Anava Untuk Stabilitas Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	151
Tabel 5.30 Analisa Varian Data Flow	151

Tabel 5.30.1 Daftar Anava Untuk Flow Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	152
Tabel 5.31 Analisa Varian Data VIM	153
Tabel 5.31.1 Daftar Anava Untuk VIM Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	154
Tabel 5.32 Analisa Varian Data VMA.....	154
Tabel 5.32.1 Daftar Anava Untuk VMA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	155
Tabel 5.33 Analisa Varian Data MQ.....	156
Tabel 5.33.1 Daftar Anava Untuk MQ Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	157
Tabel 5.34 Analisa Varian Data VFA	157
Tabel 5.34.1 Daftar Anava Untuk VFA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	158
Tabel 5.35 Analisa Varian Data Indeks Perendaman.....	159
Tabel 5.35 Daftar Anava Untuk Indeks Perendaman Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban	160
Tabel 5.36 Analisa Varian Data Stabilitas	161
Tabel 5.36.1 Daftar Anava Untuk Stabilitas Variasi Kadar Serbuk Ban...	161
Tabel 5.37 Analisa Varian Data Flow	162
Tabel 5.37.1 Daftar Anava Untuk Flow Variasi Kadar Serbuk Ban.....	163
Tabel 5.38 Analisa Varian Data VIM	164
Tabel 5.38.1 Daftar Anava Untuk VIM Variasi Kadar Serbuk Ban	164
Tabel 5.39 Analisa Varian Data VMA.....	165
Tabel 5.39.1 Daftar Anava Untuk VMA Variasi Kadar Serbuk Ban.....	166
Tabel 5.40 Analisa Varian Data MQ.....	166
Tabel 5.40.1 Daftar Anava Untuk MQ Variasi Kadar Serbuk Ban	167
Tabel 5.41 Analisa Varian Data VFA	168
Tabel 5.41.1 Daftar Anava Untuk VFA Variasi Kadar Serbuk Ban.....	169
Tabel 5.42 Analisa Varian Data Indeks Perendaman.....	169

Tabel 5.42 Daftar Anava Untuk Indeks Perendaman Variasi Kadar Serbuk Ban	170
Tabel 5.43 Pengujian Hipotesis Tanpa Menggunakan Serbuk Ban.....	171
Tabel 5.44 Pengujian Hipotesis Tanpa Menggunakan Serbuk Ban.....	171

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Diagonal Komposisi Campuran Agregat.....	105
Grafik 5.1 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas.....	124
Grafik 5.2 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Flow.....	125
Grafik 5.3 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM.....	125
Grafik 5.4 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA	126
Grafik 5.5 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Marshall Quotient.....	126
Grafik 5.6 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VFA.....	127
Grafik 5.7 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Indeks Perendaman	127
Grafik 5.8 Diagram Batang Mencari Kadar Aspal Optimum	128
Grafik 5.9 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Stabilitas	142
Grafik 5.10 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Flow .	143
Grafik 5.11 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VIM..	143
Grafik 5.12 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VMA	144
Grafik 5.13 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Marshall Quotient.....	144
Grafik 5.14 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VFA .	145
Grafik 5.15 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Indeks Perendaman	145
Grafik 5.16 Diagram Batang Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum.....	146
Grafik 5.17 Hubungan Antara Kadar Material dengan Stabilitas Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	153
Grafik 5.18 Hubungan Antara Kadar Material dengan Flow Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	155
Grafik 5.19 Hubungan Antara Kadar Material dengan VIM Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	156

Grafik 5.20 Hubungan Antara Kadar Material dengan VMA Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	158
Grafik 5.21 Hubungan Antara Kadar Material dengan Marshall Quotient Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	159
Grafik 5.22 Hubungan Antara Kadar Material dengan VFA Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	161
Grafik 5.23 Hubungan Antara Kadar Material dengan Indeks Perendaman Non Serbuk Ban dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Material Pasir dan Serbuk Ban	163

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Lapisan Kontruksi Perkerasan Lentur	10
Gambar 2.2 Susunan Lapisan Kontruksi Perkerasan Kaku	10
Gambar 2.3 Susunan Lapisan Kontruksi Perkerasan Komposit	11
Gambar 3.1 Skema pengujian alat <i>Marshall</i>	63

DAFTAR NOTASI

AASHTO	: The American Association of State Highway and Transportation Official
SNI	: Standard Nasional Indonesia
AC-WC	: Asphalt Concrete Wearing Course
H_0	: Hipotesis nol
H_a	: Hipotesis alternatif
R^2	: Koefisien determinasi
$\sum n_i$: Jumlah pengamatan
$\sum Y^2$: Jumlah kuadrat dari semua nilai pengamatan
Stabilitas	: Stabilitas aspal, kg
Flow	: Nilai Kelelahan aspal, mm
VIM	: Voinds In Mix (rongga dalam campuran), %
VMA	: Voinds In Mineral (rongga dalam agregat), %
VFA	: Voinds Filled Aspal (rongga dalam agregat terisi aspal), %
MQ	: Marshall Quotient (perbandingan antara stabilitas dan flow), Kg/mm
α	: Taraf signifikansi
SS-JK	: Sum of Square (jumlah kuadrat)
MS-KT	: Median of Square (kuadrat tengah)
df-dk	: Degree of freedom (derajat kebebasan)

DAFTAR ISTILAH

1. AASTHO : Asosiation America Standart Highway Testing Organization
2. ASTM : America Standart Testing Material
3. Agregat` : Batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi minerla lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil-hasil pengolahan (penyaringan pemecahan) yang merupakan bahan utama kontruksi jalan
4. Bitumen (Aspal) : Bahan berwarna coklat tua sampai hitam, bersifat lekat, berbentuk padat atau cair dan merupakan zat hidrokarbon yang larut dalam sulfida
5. Bleeding : Melelehnya cairan aspal kepermukaan jalan akibat volume aspal lebih besar dari rongga dalam campuran, sehingga rongga dalam campuran tidak mampu menampung aspal dan kelelehan akan naik kepermukaan
6. Berat Jenis (BJ) : Perbandingan antara agregat (Bulk Spesifik Grafity) kering dengan berat air suling, yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu
7. BJ kering permukaan jenuh : Perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu
8. Berat jenis bitumen (Aspal) : Perbandingan antara berat bitumen (aspal) dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu
9. DMF (*Desaign Mix Formula*) : Rumus rancangan campuran adalah hasil rancangan campuran di laboratorium untuk satu jenis beton aspal

10. Durabilitas : Keawetan, kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas, serta pengaruh cuaca dan iklim
11. Flow : Kelelahan atau penurunan pada campuran aspal, dinyatakan dalam satuan mm
12. JMF (*Job Mix Formula*) : Rumus perbandingan campuran hasil rancangan campuran yang dipergunakan sebagai resep AMP, DMF menjadi JMF setelah melalui pengujian percobaan produksi
13. Kadar Aspal Optimum : kadar aspal yang memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi dari keseluruhan nilai parameter Marshall.
14. Laston : Lapisan aspal beton, beton aspal bergradasi menerus
15. Marshall Quotient : angka yang menyatakan tingkat kelenturan (*flexibility*) suatu campuran, yang merupakan hasil bagi stabilitas terhadap flow, yang dinyatakan dalam satuan (Kg/mm)
16. Marshall Test : Suatu pengujian dengan alat Marshall untuk menentukan nilai stabilitas dan flow
17. Stabilitas : Ketahanan campuran aspal terhadap beban lalu lintas, dinyatakan dalam satuan Kg
18. VIM : *Voids in Mix*, atau volume rongga/pori diantara partikel agregat yang diselimuti aspal dalam campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam (%)
19. VMA : *Voids in Mineral*, Agregat atau volume pori di dalam campuran yang telah dipadatkan, termasuk pori yang terisi aspal, yang dinyatakan dalam (%)
20. VFA : *Voids filled Aspal*, atau volume pori di antara partikel-partikel agregat yang terisi aspal dalam campuran padat, yang dinyatakan dalam (%)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya laju pertumbuhan perekonomian dan jumlah penduduk, maka banyak permasalahan mengenai dampak yang mendorong semakin meningkatnya akifitas kegiatan transportasi, sehingga tingkat penggunaan jalan cukup tinggi, dalam permasalahan ini dipengaruhi dengan jumlah kepemilikan kendaraan bermotor yang tidak terkendali. Menyikapi hal tersebut pembangunan dan pengembangan jalan salah satu prioritas pembangunan nasional. Oleh karena itu, perlu adanya solusi dan inovasi untuk mengatasi ban kendaraan bekas, yaitu dengan cara mengolah ban kendaraan bekas menjadi serbuk ban.

Aspal merupakan bahan pengikat yang sudah sering digunakan dalam campuran beton aspal untuk perkerasan jalan. Sifat aspal sangat dipengaruhi oleh suhu dan beban lalu lintas yang ada. Disamping itu pemadatan lanjut akibat beban lalu lintas di lapangan juga dapat menyebabkan penurunan volume pori dalam campuran bahkan menyebabkan *bleeding*. Dan seringkali ditemui kondisi jalan yang rusak sebelum mencapai umur rencana adalah salah satu alasan untuk mengkaji lebih lanjut mengenai kinerja penggunaan bahan tambah material alternatif terhadap suatu campuran lapisan untuk perkerasan jalan.

Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika Serikat sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalulintas (Sugiyanto,2008 dikutip dari AASHTO, 1982). *Road Research Centre, Ministry of Public Work* di Kuwait menyatakan penambahan 2 % latek dan parutan ban bekas terhadap aspal dapat mencegah terjadinya retak-retak, *Bleeding* dan memperkecil terjadinya pelepasan butir pada permukaan perkerasan lentur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik serbuk ban pada kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan parameter Marshall. Dimana serbuk ban bersifat dan mempunyai perilaku (*Fleksibel*) sehingga tidak memberikan dampak negatif jangka panjang terhadap mutu konstruksi perkerasan jalan. Untuk itu dicoba meneliti karakteristik bahan tambah material yaitu serbuk ban sebagai campuran agregat halus terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) sebagai bahan alternatif . Hasil dari penelitian ini diharapkan didapat suatu bahan tambah (*materials*) sebagai bahan alternatif yang lebih murah dan mudah didapat serta sekaligus dapat membantu permasalahan yang terjadi untuk konstruksi perkerasan jalan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka indentifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas Asphalt concrete wearing course (AC-WC) terhadap kinerja perkerasan jalan.
2. Mengetahui prosentase nilai optimum bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas asphalt concrete wearing course (AC-WC) pada nilai karateristik Marshall.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti yaitu :

1. Apakah bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas Asphalt concrete wearing course (AC-WC) dapat berpengaruh terhadap kinerja perkerasan jalan ?
2. Berapakah prosentase nilai optimum bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas asphalt concrete wearing course (AC-WC) pada nilai karateristik Marshall ?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas Asphalt concrete wearing course (AC-WC) terhadap kinerja perkerasan jalan.
2. Untuk mengetahui prosentase nilai optimum bahan tambah material alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas asphalt concrete wearing course (AC-WC) pada nilai karakteristik Marshall.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini diperlukan batasan-batasan masalah untuk mengurangi pengaruh variable lain yang timbul, pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari Pertamina.
2. Agregat diambil dari AMP PT. MRS di Bululawang Kabupaten Malang.
3. Bahan tambah material serbuk ban diambil dari tempat Vulkanisir ban di Kabupaten Kediri.
4. Variasi penambahan serbuk ban bekas sebesar 0%, 10%, 20%, 30 %, 40 %.
5. Kadar filler yang digunakan 6,5 % diambil dari Variasi Usaha Beton (VUB) Pandaan.
6. Pemeriksaan material menggunakan metode Bina Marga dari *Departement Pekerjaan Umum*.

7. Tempat penelitian di Laboratorium Bahan Kontruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang
8. Skala penelitian disesuaikan dengan persyaratan dan ketentuan Laboratorium.
9. Pemeriksaan asphalt yang dilakukan meliputi : Penetrasi, Titik nyala dan titik bakar, Titik Lembek, Daktilitas, Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter, Kehilangan Berat.
10. Pemeriksaan agregat yang dilakukan meliputi : Impact Value, Indeks Kepipihan, Angka Agularitas, Berat Isi Agregat, Analisa Agregat, Berat Jenis Agregat Penyerapan Agregat, Keausan Agregat, Analisa Saringan Bahan Tambah Serbuk Ban
11. Pemeriksaan mutu campuran dengan alat Marshall, meliputi : Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, Marshall Quotient, Indeks Peredaman

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Untuk peneliti dengan memberikan informasi dasar bagi peneliti selanjutnya.
2. Untuk praktisi yang terkait, hasil penelitian ini dapat memberikan suatu informasi dalam pemakaian bahan tambah alternatif serbuk ban untuk campuran Asphalt concrete wearing course (AC-WC) sehingga dapat

diselaraskan dengan kondisi pada proyek dalam rangka pemberdaya bahan tambah material lokal.

3. Untuk masyarakat dapat memanfaatkan limbah ban secara optimal baik untuk dari segi ekonomi dan lapangan kerja baru bagi masyarakat.

1.7 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan yang akan diajukan dalam rumusan permasalahan, sehingga memerlukan pengujian berdasarkan fakta yang dikumpulkan. Ada dua bentuk hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Hipotesis Nihil (HO)

Menyatakan tidak adanya perbedaan nilai karakteristik marshall pada campuran panas Asphalt concrete wearing course (AC-WC) yang menggunakan bahan tambah alternatif serbuk ban.

2. Hipotesis Alternatif (HA)

Menyatakan adanya perbedaan nilai karakteristik marshall pada campuran panas Asphalt concrete wearing course (AC-WC) yang menggunakan bahan tambah alternatif serbuk ban.

Dalam penelitian ini digunakan hipotesis alternatif (HA), sehingga hipotesisnya adalah :

Terdapat pengaruh penambahan serbuk ban terhadap nilai parameter karakteristik Marshall yang meliputi : Nilai Stabilitas, Flow, Marshall Quotient, % Rongga udara dalam campuran (VIM), % rongga udara dalam agregat kasar (VMA), indeks perendaman, pada campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Sedangkan hipotesis statistiknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
2. $H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

Dimana :

μ = Parameter Marshall

μ_1 = Prosetase penambahan serbuk ban 0 %

μ_2 = Prosetase penambahan serbuk ban 10 %

μ_3 = Prosetase penambahan serbuk ban 20 %

μ_4 = Prosetase penambahan serbuk ban 30 %

μ_5 = Prosetase penambahan serbuk ban 40 %

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Berdasarkan hasil penelitian Herman Fithra, Teknik Sipil Universitas Malikussaleh (2011) dengan judul : “*Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas Pada Campuran Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*”, menyimpulkan bahwa : Dengan kadar aspal optimum (5,5 %) dan kadar serbuk ban bekas 50 % sebagai pengganti agregat halus menunjukkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi yaitu sebesar 261 kg/mm.
2. Berdasarkan hasil penelitian I Nyoman Karnata Mataram, ST, MT. Prof. Ir I Nyoman Arya Thanaya, ME, PhD. Ir. I Gusti Putu Suparsa, MT. Luh Gede Noviana Dewi, ST, Teknik Sipil Universitas Udayana (2015) Bali dengan judul : “*Kajian Karakteristik Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas A Dengan Crumb Rubber 40 Mesh Sebagai Substitusi Sebagai Agregat Halus*”, menyimpulkan bahwa : Karakteristik campuran latasir kelas A dengan *crumb rubbe 40 mesh* sebagai substitusi sebagian agregat halus pada kadar aspal optimum sebesar 7,5 % didapat nilai Flow rata-rata campuran latasir kelas A pada kadar *crumb rubber* 0 % , 50 % , 100 % terhadap berat total agregat halus lolos ayakan no. 40 dan tertahan no. 50 yang disubstitusi berdasarkan volume, berturut- turut adalah 2,71 mm , 2,82 mm dan 2,91 dengan nilai maksimum adalah 3 mm.

3. Berdasarkan hasil penelitian Sentot Hardiwiyo, Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (2012) Yogyakarta dengan judul : “*Pengaruh Penambahan Parutan Karet Ban Gradasi Tipe 2 Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course*”, menyimpulkan bahwa : Kadar aspal optimum untuk HRS-WC dengan penambahan 20 %, 21 %, 22 % berturut-turut didapatkan kadar aspal optimum adalah 7,4 %, 7,875 % , 7,425%. Untuk nilai stabilitas HRS-WC normal lebih tinggi bila dibandingkan dengan HRS-WC dengan penambahan parutan karet ban bekas adalah 1723,484 Kg.

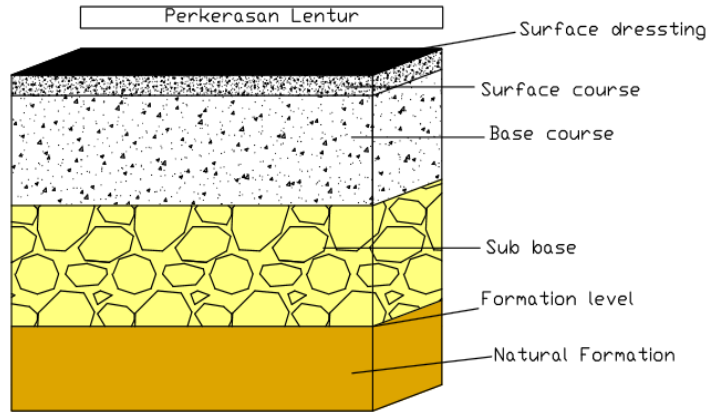
2.2 Kontruksi Lapisan Perkerasan Jalan

Lapis perkerasan jalan merupakan lapis yang langsung bersentuhan dengan permukaan roda kendaraan. Distribusi beban roda yang diterima lapis permukaan jauh lebih besar dari lapis di bawahnya. Alasan inilah menyebabkan lapis permukaan dirancang dengan mutu bahan yang lebih baik dengan syarat teknis yang lebih tinggi. Kontruksi jalan pada umumnya terdiri dari lapis bahan yang berbeda-beda , menurut sifat yang digunakan . Secara garis besar ada tiga macam kontruksi perkerasan jalan yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku dan perkerasan komposit.

Berdasarkan bahan pengikatnya kontruksi perkerasan jalan terdiri dari :

1. Kontruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

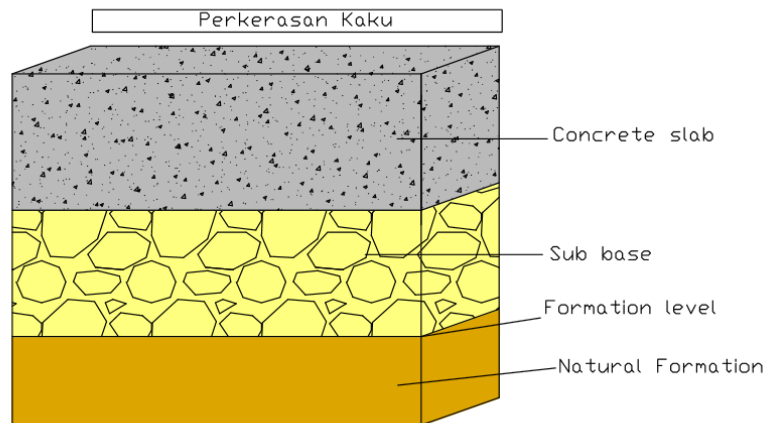
Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalulintas ke tanah dasar.



Gambar 2.1 Susunan lapisan konstruksi perkerasan lentur

2. Kontruksi Pekerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

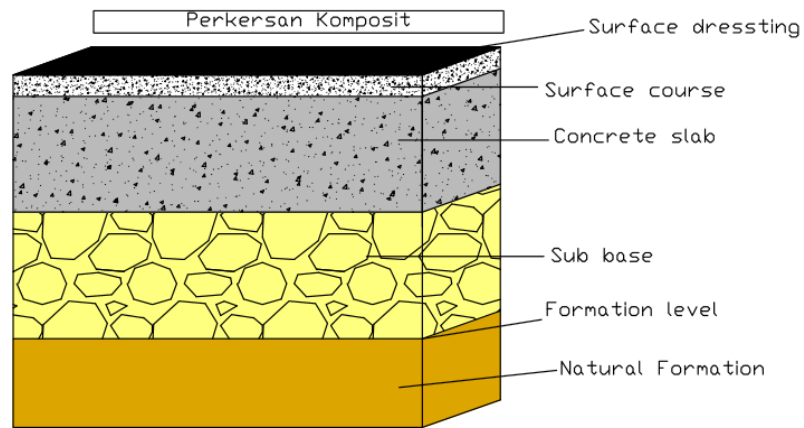
Perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah sebagai pemikul beban lalu lintas.



Gambar 2.2 Susunan lapisan konstruksi perkerasan kaku

3. Kontruksi Perkerasan Komposit (*Composit Pavement*)

Perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan pekerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasn kaku, atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur. (Sivia Sukirman, 1995 :4)



Gambar 2.3 Susunan lapisan kontruksi perkersan komposit

2.2.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang terletak pada lapisan paling atas dan berfungsi sebagai :

- ❖ Lapis perkerasan penahan beban roda, lapis ini mempuyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama pelayanan
- ❖ Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap kelapisan bawahnya.

- ❖ Lapis aus (wearing course), lapisan yang berlangsung bergesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- ❖ Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut diatas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama.

Jenis lapis permukaan yang umum di Indonesia antara lain :

1. Lapisan bersifat non struktural, berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air antara lain :

a. Burtu (Laburan aspal satu lapis)

Merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam (pasir) dengan ketebalan maksimum 2 mm.

b. Burda (Laburan aspal dua lapis)

Merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan pasir, dikerjakan dua kali berturut-turut dengan ketebalan maksimum 3,5 cm

c. Latasir (Lapisan tipis aspal pasir)

Merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal dan pasir dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu pada suhu tertentu dengan tebal padat 1-2 cm.

d. Buras (Laburan aspal)

Merupakan lapis penutup terdiri dari lapisan aspal tertahan pasir dengan ukuran butir maksimum 3/8 inch.

e. Latasbum (Lapisan tipis asbuton murni)

Merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal padat maksimum 1 cm.

f. Lataston (Lapisan tipis aspal beton)

Dikenal dengan nama (*Hot Rolled Sheet*), merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (filler) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Tebal padat antara 2,5 - 3 cm.

2. Lapisan bersifat struktural, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda antara lain :

a. Lapen/Penetrasi Macadam

Merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Diatas lapen ini biasanya diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal lapisan satu lapis dapat bervariasi dari 4 – 10 cm.

b. Lastabug (Lapis asbuton agregat)

Merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal pada tiap lapisanya antara 3 – 5 cm.

c. Laston (Lapis aspal beton)

Merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur dilempar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

2.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas. Sebagaimana disebutkan di atasnya bahan material yang digunakan untuk lapis pondasi atas (*base course*) adalah material yang cukup kuat. Untuk lapis pondasi atas tanpa bahan pengikat umumnya menggunakan material dengan nilai $CBR \geq 50\%$ dan Indeks Plastis ($PI \leq 4\%$). Bahan- Bahan alam seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilitas tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai *base course*, yang berfungsi antara lain sebagai :

- ❖ Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban kelapisan dibawahnya.
- ❖ Lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah.
- ❖ Bantalan terhadap lapis permukaan.
- ❖ Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Syarat untuk material Lapisan Pondasi atas sebagai berikut :

1. Mutu bahan harus sebaik mungkin dimana tidak mengandung kotoran lumpur, bersisi tajam dan kaku
2. Susunan gradasi harus merupakan susunan yang rapat, artinya butiran batuan harus mempunyai susunan gradasi yang saling mengisi antara butiran agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus sehingga rongga semakin kecil.
3. Material yang digunakan untuk lapisan pondasi atas haruslah awet dan kuat dan mempunyai nilai $CBR \geq 50\%$ dan Indeks Plastis (PI) $\leq 4\%$.

Jenis lapis pondasi atas yang umum digunakan di Indonesia antara lain :

1. Agregat bergradasi baik yang dapat dibagi batu pecah kelas A, batu pecah kelas B dan batu pecah kelas C. Batu pecah kelas mempunyai gradasi yang lebih kasar dari batu pecah kelas B, dan batu pecah kelas B lebih kasar dari batu pecah kelas C. Kriteria dari masing-masing lapisan diatas dapat diperoleh pada spesifikasi yang diberikan. Lapis pondasi kelas B terdiri dari campuran kerikil dan kerikil pecah atau batu pecah dengan berat jenis yang seragam dengan pasir, lempung dengan persyaratan dibawah ini :

Tabel 2.1 Ukuran Saringan ASTM

Ukuran Saringan	Persen Lolos Saringan			
ASTM	(mm)	Clas A	Clas B	Clas C
2	50		100	75 - 100
1 1/2	37,5	100	88 - 95	60 - 90
1	25	79 - 85	70 - 85	45 - 78
3/8	95	44 - 58	30 - 65	25 - 55
No. 4	4,75	29 - 44	25 - 55	13 - 35
No.10	2	17 - 30	15 - 40	8 - 36
No. 40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 23
No. 200	0,75	2 - 8	2 - 8	5 - 15

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

Partikel yang mempunyai diameter kurang dari 0,02 mm harus tidak lebih dari 3% dari berat total contoh bahan yang akan diuji.

2. Pondasi Macadam
3. Pondasi Telford
4. Penetrasi Macadam (Lapen)
5. Aspal Beton Pondasi (Asphalt Concrete Base/Asphalt Treated Base)
6. Stabilitas yang terdiri dari :
 - ❖ Stabilitas agregat dengan semen
 - ❖ Stabilitas agregat dengan kapur
 - ❖ Stabilitas agregat dengan aspal

2.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base Coarse*)

Lapisan perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapis pondasi bawah. Lapisan Pondasi bawah bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat dengan mempunyai nilai CBR 20% dan Indeks Plastis (PI) $\geq 10\%$, yang berfungsi antara lain :

- ❖ Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- ❖ Efisiensi penggunaan material.
- ❖ Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- ❖ Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- ❖ Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas. Untuk itu lapisan pondasi bawah haruslah memenuhi syarat filler yaitu :

$$\frac{D_{15} \text{ Subbase}}{D_{15} \text{ Subgrade}} \geq 5$$

$$\frac{D_{15} \text{ Subbase}}{D_{85} \text{ Subgrade}} \geq 5$$

Dimana :

D15 : Diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 15 %

D85 : Diameter butir pada keadaan banyaknya persen yang lolos = 85 %

Jenis lapisan pondasi bawah yang umum digunakan di Indonesia antara lain :

1. Agregat bergradasi baik, yang dibedakan atas sirtu/pitrun yang terbagi dalam kelas A, kelas B dan kelas C. Sirtu kelas A bergradasi lebih kasar dari sirtu kelas B, yang masing-masing dapat dilihat pada spesifikasi yang diberikan.
2. Stabilitas yang terdiri dari :
 - ❖ Stabilitas agregat dengan semen
 - ❖ Stabilitas agregat dengan kapur
 - ❖ Stabilitas tanah dengan semen
 - ❖ Stabilitas tanah dengan kapur

2.2.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm diatas mana akan diletakan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilitaskan. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas :

- ❖ Lapisan tanah dasar, tanah galian
- ❖ Lapisan tanah dasar, tanah asli

Kekuatan dan keawetan kontruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat daya dukung tanah dasar. Maka dalam kontruksi perkerasan perkerasan jalan diperkenalkan modulus resilien (M_R) sebagai parameter tanah dasar yang digunakan dalam perencanaan. Modulus resilien (M_R) tanah dasar juga dapat diperkirakan dari CBR standar dan hasil atau nilai tes soil indeks. Korelasi Modulus

Resilien dengan nilai CBR (Heukelom dan Klomp) berikut ini dapat digunakan untuk tanah dasar berbutir halus (Fine-grained soil) dengan nilai CBR.

Persoalan tanah dasar yang sering ditemui antara lain :

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu sebagai akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti daerah dan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan konstruksi.
4. Lendutan dan lendutan baik selama dan sesudah pembebanan lalu-lintas untuk jenis tanah tertentu.
5. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu-lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir (*granular soil*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan konstruksi.

2.3 Lapisan beton asphalt concrete wearing course (AC-WC)

Laston asphalt concrete wearing course (AC-WC) adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas meninjau pada Asphalt concrete wearing course AC-WC.

Laston Asphalt concrete wearing course (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 cm. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya kelapisan dibawahnya berupa muatan kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (Horizontal) dan pukulan Roda kendaraan (getaran). Karena sifat penyebaran beban, maka beban yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin besar. Lapisan yang paling atas disebut lapisan permukaan dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja. (Silvia Sukirman, 2012).

Oleh karena itu lapisan permukaan mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus, lapisan yang langsung menerima gesekan akibat gaya rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapisan yang menyebarkan beban kelapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya.

Sjahanulirwan (2009), berdasarkan NAPA (1996) yang dicuplik dari Epps, J.A (1986) mengatakan bahwa aspal yang ideal adalah dapat memperbaiki atau

meningkatkan sifat karakteristik campuran beraspal dan kemudahan kerja, yaitu aspal yang memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. kekakuan rendah atau viskositas yang relatif tinggi sehingga tidak memerlukan temperatur tinggi untuk pemompaan aspal, pencampuran dan pemadatan,
2. kekakuan tinggi pada saat temperatur tinggi musim panas untuk menghindari alur dan sungkur.
3. kekakuan rendah pada saat temperatur rendah musim hujan untuk menghindari retak.

Tabel 2.2 Sifat campuran beton aspal

Sifat campuran		Laston (AC)
		WC
Jumlah tubukan		75
VIM (%)	min	3
VMA (%)	min	15
VFA (%)	min	65
Stabilitas(Kg)	min	800
Flow(mm)	min	2
Marshall quotient (Kg/mm)	min	200
Stabilitas setelah pnedaman selama 24 jam,60°C	min	85

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

2.4 Material Penyusun Perkerasan Jalan

2.4.1 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen

utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 –85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Yang menentukan kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan adalah: gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya kelekatan terhadap aspal.

Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan air yang dapat terarbsorbsi oleh agregat. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Penyerapan agregat halus} = \frac{B_j - B_k}{B + B_s - B_t} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

Bs : Berat sample, (gram)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh

Bk : Berat sample kering oven

Berdasarkan kondisi kelembaban agregat, pemeriksaan fisik terhadap agregat yaitu pemeriksaan berat jenis yang dibagi kedalam 3 kondisi kelembababn agregat yaitu BJ curah/ Bulk, Bj SSD, dan Bj Semu. Pemeriksaan berat jenis agregat berdasarkan perbandingan berat karena lebih teliti, yang nantinya hasil dari pengukuran berat jenis tersebut digunakan sebagai perencanaan campuran agregat dengan aspal.

Tabel 2.3 Spesifikasi agregat untuk beton aspal

Jenis pemeriksaan	Satuan	Syarat min		Metode pemeriksaan	
		Fraksi Agregat Kasar	Fraksi agregat halus	SNI	AASHTO/ASTM
Ukuran butir (% lolos saringan n.8)	%	0			T 96-87
Abrasi dengan mesin Los Angles	%	Maks 40		SNI 03-2417-1991	T 104-86
Soundnexx terhadap larutan natrium/magnesium sulfat	%	Maks 12		SNI 03-3407-1994	T 182-84
Kelekatan agregat terhadap aspal	%	Maks 95		SNI 03-2439-1991	
Angularitas	%	0-12			
Indeks Kepipihan	%	Maks 10			ASTM D-4791
Aborsi air	%	Maks 3	Maks 3	SNI 03-1969-1990	
Berat jenis semu		Min 2,5	Min 2,5	SNI 03-1970-1990	T 84 dan 85-88
Partikel lolos saringan no.200	%		Maks 8	SNI M-02-1994-03	T 11-90

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

2.4.2 Persyaratan Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing-masing agregat ini sering kali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya.

a. Agregat kasar

Fraksi Agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No. 1/2 (13,2 mm) dan haruslah bersih, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainya dan memenuhi persyaratan. 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 ketahanan terhadap slip (skid resisttance) yang tinggi sehingga menjamin keamanan lalu lintas.

Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran wearing course, untuk itu nilai los angles abrasi tes harus dipenuhi.

b. Agregat sedang

Agregat sedang adalah agregat dengan ukuran butir lebih dari saringan No.1/2 (13,2 mm). Fraksi agregat sedang untuk rancangan adalah yang tertahan pada saringan No. 3/8 (9,6 mm). Agregat sedang dapat meningkatkan ketahanan campuran kestabilan antara butiran. Bahan-bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah.

c. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No.8 (2,38 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

d. Filler

Filler adalah material yang sangat halus, minimum 75 % yang lolos saringan No.200 (0,074). Pada prakteknya fungsi filler adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengaruhi kepekaan terhadap temperatur, meningkatkan komposisi filler dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar *air void* (rongga udara).

Demikian komposisi filler dalam campuran tetap dibatasi karena terlalu tinggi kadar filler dalam campuran akan mengakibatkan campuran getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas. Akan tetapi terlalu rendah kadar filler akan mengakibatkan campuran terlalu lunak pada saat cuaca panas.

Tabel 2.4 Syarat Gradasi Filler

No.	Ukuran saringan	Persen lolos
1.	No. 30 (0.6 mm)	100
2.	No. 50 (0.3 mm)	95-100
3.	No. 100 (0.15 mm)	90-100
4.	No. 200 (0.075 mm)	65-100

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh material filler (Sheheard P.B)

yaitu :

1. Tidak reaktif atau mengurangi saat dicampur dengan aspal
2. Tidak larut dalam air
3. Tidak *hygrospik*
4. Berwarna gelap, untuk menghindari masuknya matahari karena masuknya matahari dapat mempercepat proses oksidasi aspal.
5. Tidak hancur saat proses pencampuran dan selama umur pelayanan.

2.4.3 Gradasi Agregat

Gradasi merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat biasanya mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup.

Berdasarkan gradasi agregat dibedakan atas :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang

kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus dalam porsi yang seimbang, sehingga sering disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dikatakan bergradasi baik jika persen yang lolos setiap lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0.4}$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara agregat bergradasi seragam dan agregat bergradasi rapat.

Tabel 2.5 Spesifikasi Gradasi Bina Marga 2010

Ukuran Saringan		% Berat Lolos						
		Lataston (AC)			Lataston HRS		Latasir (SS)	
No.	Lubang	AC - WC	AC - BC	AC-Base	HRS- WC	HRS-Base	Kelas A	Kelas B
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5"	37,5			100				
1"	25		100	90-100				
3/4"	19	100	90-100	Maks 90	100	100	100	100
1/2"	12,5	90-100	Maks 90		90-100	90-100		
3/8"	9,5	Maks 90			75-85	65-100	90-100	
No.8	2,36	25-58	23-39	19-15	50-72	35-55		75-100
No.16	1,18							
No.30	0,6				35-60	15-35		
No.200	0,08	4,-10	4,-8	3,-7	6,-12	2,-9	10,-15	8,-13

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

2.4.4 Spesifikasi gradasi agregat lapis AC-WC

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, dimana agregat itu sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat dengan kualitas dan mutu yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya.

(Silvia Sukirman, 2012).

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi :

1. Kekuatan dan keawetan yang dipengaruhi oleh:

- ❖ Gradasi
- ❖ Ukuran maksimum
- ❖ Kadar lempung
- ❖ Kekerasan dan ketahanan
- ❖ Bentuk butir
- ❖ Tekstur permukaan

2. Kemampuan yang dilapisi dengan aspal yang baik dipengaruhi oleh:

- ❖ Porositas
- ❖ Kemungkinan basah
- ❖ Jenis agregat

3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman yang dipengaruhi oleh:

- ❖ Tahan geser
- ❖ Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (Silvia Sukirman, 2012)

Pada campuran asphalt concrete yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC yang mempunyai gradasi menerus tersebut ditunjukkan dalam persen berat agregat. (Silvia Sukirman, 2012)

2.4.5 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *hydrocarbon* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekatkan, padat atau semi padat, dimana sifat aspal yang menonjol tersebut didapat di alam atau dengan penyulingan minyak (Kreb, RD & Walker, RD, 1971, Tesis Rian Putrowijoyo, 2006).

Aspal adalah material yang mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viscositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan, aspal mempunyai sifat viscositas yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan (*Shell Bitumen*, 1990, Tesis R. Antarikso Utomo, 2008).

Sedang sifat aspal lainnya adalah :

1. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*)

yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).

2. Aspal adalah bahan yang (*Thermoplastis*)

yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin cair demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal dan akan menjadi getas dan rapuh.

3. Aspal mempunyai sifat (*Thixotropy*)

yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan dan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu. Menurut Sukirman, S., (2003) aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai berikut :

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

Beberapa lapis permukaan jalan yang dapat dibuat dari asbuton yaitu :

1. *Seal coat asbuton*

Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dengan perbandingan tertentu dan pencampurannya dilakukan dengan dingin (*cold mix*).

2. *Sand sheet asbuton*

Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dan pasir dengan perbandingan tertentu dan pencampurannya dilakukan secara dingin/hangat/panas.

3. Lapis beton asbuton

Lapis ini merupakan campuran antara asbuton, bahan pelunak dan agregat dengan gradasi rapat pada perbandingan tertentu yang dilaksanakan secara dingin/hangat/panas.

Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, suhu pelaksanaan pencampuran bisa dilakukan dengan beberapa cara :

1. Secara dingin

Pencampuran dilaksanakan pada suhu ruangan. Campuran secara dingin tidak dapat langsung dihamparkan di lapangan, tetapi harus dieram lebih dahulu (1-3 hari) agar bahan pelunak diberi kesempatan meresap ke dalam butiran asbuton. Lama waktu pengermanan tergantung dari :

- a. Diameter butir asbuton, semakin besar butiran , waktu pengermanan makin lama.
- b. Kadar air yang terkandung dalam asbuton.
- c. Cuaca setempat.
- d. Kekentalan bahan pelunak, makin cair peresapan akan makin cepat, sehingga lama pengermanan lebih singkat.

e. Kadar aspal dalam asbuton.

2. Secara hangat dan panas

Kedua cara tersebut hampir sama, perbedaannya yaitu apabila temperatur pencampuran dilakukan secara panas maka suhunya $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ tetapi apabila secara hangat maka suhu campuran $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jenis-jenis asbuton yang telah diproduksi, baik secara fabrikasi maupun secara manual pada tahun-tahun belakangan ini adalah asbuton butir atau *mastic asbuton*, aspal yang dimodifikasi dengan asbuton dan bitumen asbuton hasil ekstraksi yang dimodifikasi (DPU, Direktorat Jenderal Bina Marga). Aspal padat dapat digunakan untuk hampir seluruh pekerjaan pelaksanaan perkerasan aspal, mulai dari pelapisan permukaan sampai dengan pekerjaan konstruksi perkerasan jalan yang bermutu tinggi seperti lapisan aspal beton.

2.4.5.1 Aspal Keras atau Panas

Aspal keras/aspal panas/semen aspal (*Asphalt Cement*), merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan panas. Dan berbentuk padat pada keadaan penyimpanan dalam temperatur ruangan ($25\text{-}30^{\circ}\text{C}$), oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

Semen aspal merupakan jenis aspal buatan yang langsung diperoleh dari penyaringan minyak dan merupakan aspal yang terkeras. Berdasarkan tingkat kekerasan/kekentalannya, maka aspal semen dibedakan menjadi :

1. AC 40-50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50.
2. AC 60-70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.

3. AC 85-100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100.
4. AC 120-150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
5. AC 200-300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300.

Angka-angka tersebut menunjukkan kekerasan aspal, yaitu yang paling keras adalah AC 40-50 dan yang ter lunak adalah AC 200-300. Angka kekerasan adalah berapa dalam masuknya jarum penetrasi ke dalam contoh aspal. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya menggunakan aspal keras berpenetrasi pada tabel gambar sebagai berikut :

Tabel 2.6 Spesifikasi Aspal Keras

Spesifikasi Aspal keras							
Jenis Pemeriksaan	Pen 40/50		Pen 60/70		Pen 80/100		Satuan
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Penetrasi 25 °C ; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	40	59	60	79	80	99	0,1 mm
Titik Lembek, °C	515	48	48	58	46	54	°C
Titik Nyala, °C	232	-	232	-	232	-	°C
Kehilangan Berat	-	0,4	-	0,4	-	0,4	% berat
Kelarutan Dalam CCl ₄	99	-	99	-	99	-	% berat
Daktalitas	100	-	100	-	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75	-	75	-	% semula
Berat jenis 25 °C	1	-	1	-	1	-	-

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

2.4.6 Bahan Tambah Material

Bahan tambahan adalah bahan yang digunakan atau ditambahkan pada campuran aspal untuk meningkatkan kinerja aspal. Bahan ini harus efektif, praktis dan ekonomis sehingga untuk itu bahan tambahan tersebut harus mudah didapat tahan terhadap degradasi selama pencampuran dapat menyatu dengan aspal, meningkatkan ketahanan kelelahan pada temperatur tinggi dan juga ekonomis dalam hal biaya. Dalam campuran beraspal guna memperbaiki perilaku suatu campuran beraspal serta meningkatkan kualitas modifikasi. Bahan modifikasi yang dimaksud adalah bahan tambah baik berupa polimer, selulosa, lain-lain (*filler*), maupun mikrokarbon atau zat aditif. Adapun bahan tambahan yang akan digunakan berupa Anti Stripping Agent. Bahan tambahan ini dapat merubah sifat aspal dan agregat, meningkatkan daya lekat dan ikatan serta mengurangi efek negatif dari air dan kelembaban sehingga menghasilkan permukaan yang memiliki daya lekat yang tinggi.

Pada penelitian digunakan “*serbuk ban bekas*” sebagai bahan tambahan, dan juga pada penelitian ini digunakan portland cement sebagai filler, portland cement merupakan semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, antara lain bangunan perumahan, bangunan gedung bertingkat, jembatan dan jalan raya. Portland cement relatif sering digunakan sebagai filler dalam campuran aspal, portland cement adalah bahan kalsinasi dari batuan gamping dan bahan yang lain. Dalam penelitian ini digunakan portland semen dari Pt. Semen Gresik.

2.4.6.1 Bahan Anti Pengelupasan

Additive untuk aspal merupakan bahan additive kelekatan dan anti pengelupasan dapat ditambahkan ke dalam aspal, persentase additive yang diperlukan serta waktu pencampurannya harus sesuai dengan petunjuk pabrik pembuatannya (Revisi SNI 03-1737-1989). *Berdasarkan divisi 6, spesifikasi umum Bina Marga perkerasan aspal 2010*, bahwa aditif kelekatan dan anti pengelupasan (*anti stripping agent*) ditambahkan sebanyak 0,2% - 0,3% terhadap berat aspal.

Bahan anti pengelupasan memiliki 2 (dua) fungsi utama yaitu bersifat aktif dan pasif. Adhesi aktif adalah perpindahan air di agregat selama tahap pencampuran awal konstruksi hotmix. Ketika agregat ditambahkan ke drum pengering, kelembaban dapat mencegah residu aspal dari lapisan agregat. Fungsi aktif anti pengelupasan ini sebagai pengubah tegangan permukaan dan memindahkan air dari permukaan agregat.

Bahan anti pengelupasan juga berkerja sebagai adhesi pasif yaitu pengatur penyimpanan air yang merembes antara agregat dan aspal setelah jalan telah dibangun. Dalam fungsinya, bahan anti pengelupasan bertindak sebagai penghubung antara agregat dan aspal. Tanpa anti pengelupasan, air bisa merembes ke dalam agregat dan melepas ikatan aspal.

2.4.6.2 Ban Karet

Ban karet adalah bagian penting dari kendaraan darat, dan digunakan untuk mengurangi getaran yang disebabkan ketidakrataan permukaan jalan, melindungi roda dari aus dan kerusakan, serta memberikan kestabilan antara kendaraan dan tanah untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan. Sebagian besar ban yang ada sekarang, terutama yang digunakan untuk kendaraan bermotor, diproduksi dari karet sintetik, walaupun dapat juga digunakan dari bahan lain seperti baja.

Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat yang menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, elastis, fleksibel, ketahanan geseran yang tinggi.

(Bujang B.K.Huat, 2004) Ban terdiri dari tiga komponen utama yaitu karet, baja, dan serat. Untuk menggiling ban menjadi serbuk karet dilakukan dengan proses Ambien atau cryogenic grinding. Karet memberikan kontribusi terbesar bahan ban (lebih kurang 60% berat). Ban juga merupakan material komposit, biasanya dari karet alam / karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang (Carl Thodesen, 2009).

2.5 Karakteristik Marshall

Konsep dasar dari metode Marshall dalam campuran aspal dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian *The U.S. Army Corp of*

Engineers, melanjutkan penelitian secara intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, selanjutnya meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian Marshall dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya dan distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material* 1989 (ASTM d-1559).

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 :

1. Persiapan benda uji
2. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow
4. Pemeriksaan volume benda uji

Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain :

1. Jumlah benda uji yang harus dipersiapkan
2. Persiapan agregat yang harus digunakan

3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan
4. Persiapan campuran aspal beton
5. Pemedatan benda uji
6. Persiapan untuk pengujian Marshall

Dari persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat Marshall diperoleh data sebagai berikut :

1. Kadar aspal, dinyatakan dalam bilangan decimal satu angka dibelakang koma.
2. Berat volume, dinyatakan dalam ton/m³.
3. Stabilitas, dinyatakan dalam bilangan bulat.
4. Kelelehan plastis (*flow*), dinyatakan dalam mm atau 0.01”
5. VIM, persen rongga dalam campuran dinyatakan dalam bilangan decimal satu angka dibelakang koma.
6. VMA, persen rongga dalam agregat dinyatakan dalam bilangan bulat.
7. Marshall *Quotient*, merupakan hasil bagi stabilitas dan *flow* dinyatakan dalam kN/mm.
8. Penyerapan aspal, persen terhadap berat campuran, sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektifnya.
9. Tebal lapisan aspal, dinyatakan dalam mm
10. Kadar aspal efektif, dinyatakan dalam bilangan decimal satu angka dibelakang koma.

2.5.1 Pengujian Marshall

Pengujian uji karakteristik Marshall dimaksudkan dengan tujuan untuk menentukan ketahanan/stabilitas terhadap kelelahan plastis/*flow* dari campuran aspal agregat, kelelahan plastis/*flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam milimeter atau 0.01 inch. serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran.

Metode Marshall dikembangkan untuk rancangan campuran aspal beton. Sebelum membuat briket campuran aspal beton maka perkiraan kadar aspal optimum dicari dengan menggunakan rumus pendekatan. Setelah menentukan proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia, selanjutnya menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Setelah diketahui estimasi kadar aspalnya maka dapat dibuat benda uji.

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum umumnya dibuat sampel benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5% pada jumlah sampel tertentu. Sebelum dilakukan pengujian Marshall terhadap briket, maka dicari dulu berat jenisnya dan diukur ketebalan dan diameternya di tiga sisi yang berbeda. Melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji

mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 AASHTO T245-90. Parameter Marshall yang dihitung antara lain : Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, Indeks Perendaman, dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Setelah semua parameter briket didapat, maka digambar grafik hubungan kadar aspal dengan parameternya yang kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimumnya. Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi Marshall test modifikasi.

Metode Marshall dikembangkan untuk rancangan campuran beton aspal bergradasi baik. Langkah-langkah rancangan campuran Metode Marshall adalah :

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 dilakukan berdasarkan gradasi dari masing – masing fraksi agregat yang akan dicampur. Berdasarkan berat jenis masing – masing fraksi agregat dan proporsi rancangan ditentukan berat jenis agregat campuran.
3. Menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing – masing butir agregat. Untuk rancangan campuran dilaboratorium dipergunakan kadar aspal tengah / ideal. Kadar aspal

tengah yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran. Kadar aspal tengah dapat pula ditentukan dengan mempergunakan rumus dari Spesifikasi (Depkimpraswil 2002) dibawah ini :

P = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

K = konstanta (0,5-1 untuk laston dan 2-3 untuk lataston)

Kadar aspal yang diperoleh dari rumus diatas kemudian dibulatkan mendekati angka 0,5% terdekat. Contoh, jika kadar aspal adalah 6,3 % maka dibulatkan menjadi 6,5%.

4. Membuat benda uji atau briket beton aspal. Terlebih dahulu disiapkan agregat sesuai dengan jumlah benda uji yang akan dibuat. Untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) umumnya dibuat 15 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal masing – masing berbeda 0,5% dimana 2 variasi kurang dari nilai kadar aspal tengah, dan dua lainnya lebih dari nilai kadar aspal tengah. Contoh, jika nilai kadar aspal tengah adalah 6,5%, maka dibuat variasi campuran 5,5% ; 6% ; 6,5% ; 7% ; 7,5%.
5. Melakukan uji Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (flow) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90. Penimbangan dan pengukuran dilakukan terlebih dahulu sebelum uji Marshall dilakukan.

6. Menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, VFA, Berat volume, dan parameter lain sesuai spesifikasi campuran. Nilai-nilai tersebut diisikan ke dalam formulir uji Marshall.
7. Gambarkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall.
8. Dari grafik yang telah dibuat, maka ditentukan nilai-nilai yang masuk dalam syarat spesifikasi campuran yang digunakan. Nilai – nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam grafik KAO untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dan proporsi campuran, yang merupakan rumus campuran hasil perancangan di laboratorium. Rumus ini kemudian disebut DMF (Design Mix Formula).

Langkah- langkah menentukan nilai parameter karakteristik Marshall, dirumuskan sebagai berikut :

A. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian Marshall. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan factor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus

$$S = p \times q \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

B. Flow (Kelelahan)

Syarat nilai flow antara 2 - 4 mm. Nilai flow yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai flow tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang.

C. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Nilai rongga diantara mineral agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase. Nilai VIM dalam persen dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran

G_{sb} = Berat jenis afektif agregat

Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

D. Pori-pori antar butir agregat didalam aspal padat yang terisi aspal (*VFA*)

Nilai ini menunjukkan persentase rongga campuran yang berisi aspal, nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, yaitu pada saat rongga telah penuh.

Nilai rongga terisi aspal (*VFA*) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$VFA = \frac{100x (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

VFA = Pori antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Pori antara butir agregat didalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk aspal padat

VIM = Pori dalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk beton aspal padat

E. Rongga di dalam campuran (*VIM*)

Nilai VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM dalam persen dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$VIM = 100 x \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran

F. Marshall Quotient (*MQ*)

Nilai Marshall Quotient disyaratkan 200 kg/mm sampai 350 kg/mm. Nilai

karateristik marshall diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$M = S / R \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

R = Nilai flow

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Operasional Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode uji laboratorium dan untuk serbuk ban menggunakan data sekunder. Untuk memenuhi tujuan penelitian tersebut, terdapat dua aktivitas pokok kegiatan laboratorium, yaitu pengujian campuran lapis tipis aspal beton dengan menggunakan ban bekas sebagai bahan tambah material alternatif campuran agregat halus untuk panas aspal concrete wearing course (AC-WC).

3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Maksud penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bahan tambah serbuk ban sebagai campuran agregat halus panas aspal concrete wearing course (AC-WC) dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Sedangkan tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar optimum penambahan serbuk ban sebagai pengganti agregat halus terhadap campuran panas aspal concretewearing course (AC-WC) serta menyeragamkan cara mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan dalam kriteria perencanaan. Metode ini meliputi uraian ketentuan umum dan teknis, penyiapan benda uji, cara uji, perhitungan hasil uji dan pelaporan penelitian.

3.3 Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian pengujian material dan kadar aspal optimum dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang

3.4 Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian dalam tahapan yaitu :

1. Studi literatur pustaka yang bertujuan mengkaji hubungan variabel yang akan dilakukan penelitian dengan mempelajari teori-teori yang sudah ada untuk dirumuskan sesuai dengan hipotesis penelitian.
2. Studi eksperimen dilaksanakan di Laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.

Dari kedua perancangan di atas akan didapat data-data yang kemudian dianalisis secara statistika dan dipakai untuk menguji hipotesis, sehingga didapat kesimpulan akhir.

3.5 Persiapan peralatan pengujian

Alat-alat yang akan digunakan sebagai berikut :

1. Saringan agregat
2. Gelas ukur
3. Piknometer
4. Cincin kuning
5. Bola baja
6. Timbangan

7. Oven
8. Termometer
9. Cetakan daktalitas dan benda uji
10. Wajan pengoreng
11. Alat penetrasi
12. Cleveland oven cup
13. Alat test Marshall

3.6 Bahan yang digunakan

Untuk keperluan penelitian, baik analisa percobaan maupun pengkajian secara keseluruhan diperlukan bahan :

1. Agregat halus : Ds. Selok Awar - Kec. Pasirian - Kab. Lumajang.
2. Agregat kasar : Ds. Benerwojo - Kec. Kejayan - Kab. Pasuruan.
3. Aspal : Aspal penetrasi 60/70 Pertamina.
4. Filler : Varia Usaha Beton, diambil dari kaki Gunung Penaggungan Ds. Sumpoko – Kec. Gempol – Kab. Pasuruan
5. Bahan tambah : Serbuk ban kendaraan roda 4 diambil dari tempat Vulkanisir Langgeng di Ds. Wonojoyo – Kec. Gurah – Kab. Kediri. Lolos saringan no. #16 dan tertahan saringan no. #200

3.7 Populasi Sampel

Populasi adalah seluruh objek yang akan diteliti. Penelitian ini benda uji secara keseluruhan dapat disebut populasi, sedangkan benda uji yang mewakili sebagian dari kelompok populasi disebut sampel.

a. Uji kadar aspal optimum

Sampel benda uji pada penelitian ini dibagi dalam 5 kelompok yaitu :

1. Kelompok A (kadar aspal 5 %)
2. Kelompok B (kadar aspal 5,5 %)
3. Kelompok C (kadar aspal 6 %)
4. Kelompok D (kadar aspal 6,5 %)
5. Kelompok E (kadar aspal 7 %)

Masing- masing kelompok mempunyai 5 benda uji.

b. Uji kadar serbuk ban optimum

Sampel benda uji pada penelitian ini dibagi dalam 5 kelompok yaitu :

1. Kelompok A (kadar serbuk ban 0 %)
2. Kelompok B (kadar serbuk ban 10 %)
3. Kelompok C (kadar serbuk ban 20 %)
4. Kelompok D (kadar serbuk ban 30 %)
5. Kelompok E (kadar serbuk ban 40 %)

Masing- masing kelompok mempunyai 5 benda uji.

**Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)
Filler Abu Batu**

Kadar Aspal	Temperatur (°C)	Rendaman (Menit)	Pengujian					Jumlah Benda Uji
			Stabilitas	Flo w	VI M	VM A	M Q	
5 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
5,5 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
6 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
6,5 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
7 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Mencari Durabilitas Campuran Serbuk Ban Dan Filler Abu Batu

Kadar Aspal	Temperatur (°C)	Rendaman (Menit)	Pengujian					Jumlah Benda Uji
			Stabilitas	Flo w	VI M	VM A	M Q	
5 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
5,5 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
6 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
6,5 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
7 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	

**Tabel 3.3 Jumlah Benda Uji Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)
Campuran Serbuk Ban**

Kadar Serbuk Ban (%)	Temperatur (°C)	Rendaman (Menit)	Pengujian					Jumlah Benda Uji
			Stabilitas	Flow	VI M	VMA	MQ	
0%	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
10 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
20 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
30 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
40 %	60	30	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	

Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Mencari Durabilitas Campuran Serbuk Ban Dan Filler Abu Batu

Kadar Serbuk Ban (%)	Temperatur (°C)	Rendaman (Menit)	Pengujian					Jumlah Benda Uji
			Stabilitas	Flow	VI M	VMA	MQ	
0%	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
10 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
20 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
30 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	
40 %	60	24	1	1	1	1	1	5 Buah
			2	2	2	2	2	
			3	3	3	3	3	
			4	4	4	4	4	
			5	5	5	5	5	

3.8 Metode Pengujian Material Aspal

3.8.1 Pengujian Penetrasi (AASHTO T-49-80) (ASTM D-5-71)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum ukuran tertentu, beban, dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

3.8.2 Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar (AASHTO T 48-81) (ASTM D-92-52)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan-bahan lainnya yang mempunyai titik nyala oven cup kurang dari 79°C. Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal.

3.8.3 Pengujian Titik Lembek (AASHTO T-53-89)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu, mendesak turun suatu aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal dan tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.

3.8.4. Pengujian Daktilitas (AASHTO T-51-81)

Pengujian ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

3.8.5 Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras (*AASHTO T-51-81*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dengan piknometer. Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen adan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

3.8.6 Pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal (*AASHTO T-226-79*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menetapkan penurunan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam prosen berat semula.

3.9 Metode Pengujian Material Agregat

3.9.1 Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan (Impact Value) (*BS 812 : Part 3 : 1975*)

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan agregat batu pecah terhadap tumbukan dengan menggunakan mesin Impact. Pengujian agregat ini di nyatakan dengan *Agregate Impact Value* (AIV).

3.9.2 Pengujian Indeks Kepipihan (Flakine Indeks) (*BS 812 : Part 1 : 1975*)

Metode ini didasarkan pada klasifikasi partikel agregat sebagai benda pipih (*flaky*) dengan ketebalan (dimensi terkecilnya) kurang dari 0,6 ukuran nominalnya. Ukuran ini diambil sebagai nilai batas rata-rata dari lubang-lubang saringan yang digunakan untuk menentukan ukuran fraksi partikel.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menyeragamkan cara memperoleh indeks kepipihan atau prosentase berat agregat kasar atau pipih yang masih dapat digunakan (sebagai bahan perkerasan pada jalan raya).

2.9.3 Pengujian Angka Angularitas (Angularity Number) (BS 812 : Part 1 : 1975)

Pengujian angka angularitas ditentukan dari proporsi rongga dalam sebuah sampel agregat sesudah kompaksi. Angularitas atau adanya bagian-bagian yang bersudut pada partikel pada suatu agregat merupakan bagian yang penting karena hal ini mempengaruhi kemudahan saling mengunci (*interlocking*).

2.9.4 Pengujian Berat Isi Agregat (AASHTO T-19- 74)(ASTM C-29-71)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat halus, kasar atau campuran. Berat isi adalah perbandingan antara berat dan isi.

2.9.5 Pengujian Analisa Saringan Kasar, Sedang dan Halus (AASHTO T-27-82) (ASTM C-136-46)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (Gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

2.9.6 Pengujian Keausan Agregat Dengan Alat Abrasi Los Angles (AASHTO T-96-77 (1982))

Pengujian ini adalah untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang lebih kecil dari 37,5 mm (1 ½”) terhadap keausan menggunakan alat *Los Angeles*.

2.9.7 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus (AASHTO T-84 81)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry = ssd), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

2.9.8 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-85-81)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry = ssd), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar.

3.10 Persiapan Benda Uji

Persiapan benda uji meliputi :

1. Menyiapkan Aspal sesuai yang dibutuhkan dalam mix design
2. Menyiapkan agregat (agregat kasar, agregat halus, dan agregat sedang)
3. Menyiapkan bahan tambah serbuk ban bekas
3. Keringkan agregat dalam oven pada suhu 105 – 110°C minimum selama 4 jam, kemudian keluarkan dan tunggu sampai beratnya tetap.
4. Pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan. Dengan cara menimbang masing - masing agregat (agregat kasar, agregat sedang, agregat halus) dan Filler dengan timbangan yang sudah disediakan di laboratorium secara teliti sesuai dengan takaran yang di dapat dalam mix design
5. Agregat kasar, agregat sedang, Agregat halus dan filer di masukkan dalam satu wadah dengan takaran masing – masing sesuai dengan kebutuhan.
6. Agregat kasar, sedang , halus dan Filler di panaskan dalam penggorengan hingga mencapai suhu 140⁰
7. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan (viscositas) yang disyaratkan baik untuk pekerjaan campuran maupun pemadatan seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.5 Viscositas Aspal

Alat	Pencampuran	Pemadatan
------	-------------	-----------

	Aspal	Cair	Sat	Padat	Cair	Sat
Kinematik Viscosimeter	170 ± 20	170 ± 20	C. ST	280 ± 30	280 ± 30	C. ST
Saybolt furol viscosimeter	85 ± 10	85 ± 10	DET. SF.	140 ± 15	140 ± 15	DET. SF.

(Sumber : Depkimpraswil,2002)

8. Pencampuran dilakukan sebagai berikut :

- ❖ Siapkan bahan untuk setiap benda uji yang diperlukan yaitu agregat sebanyak ± 1200 gr sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira (63,5± 1,27) mm.
- ❖ Panaskan panci pencampur beserta agregat kira-kira 28°C di atas suhu pencampuran untuk aspal padat. Bila menggunakan aspal cair, pemanasan sampai 14°C di atas suhu pencampuran.
- ❖ Agregat kasar, sedang , halus dan Filler di panaskan dalam penggorengan hingga mencapai suhu 140⁰
- ❖ Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan seperti tabel 1 di atas sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut, kemudian aduklah dengan cepat pada suhu sesuai butir di atas sampai agregat terselimuti aspal secara merata.
- ❖ Aspal, Agregat kasar, agregat sedang, Agregat halus dan filer di campur menjadi satu hingga merata dan mencapai suhu 160⁰

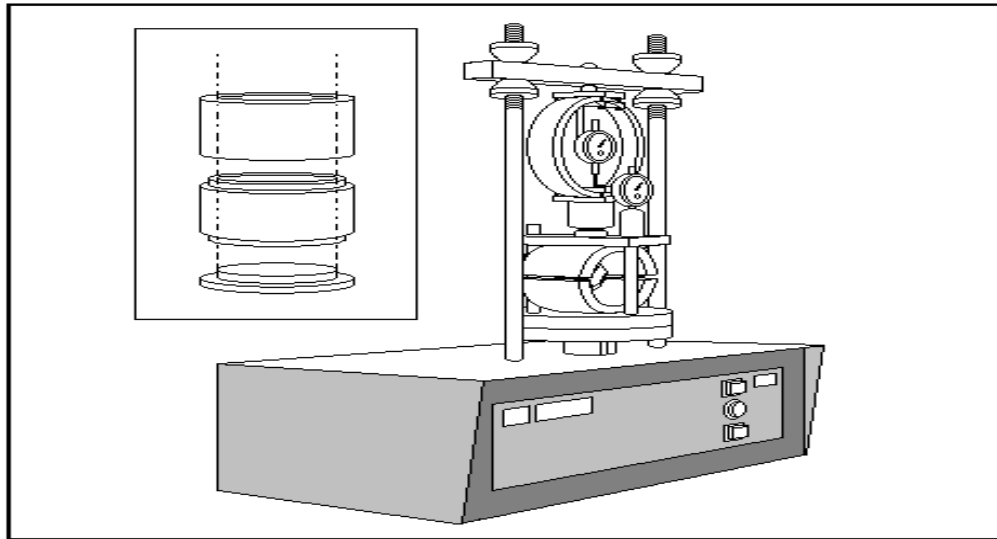
9. Pemasakan dilakukan sebagai berikut :

- ❖ Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 93,3 – 148,9°C.
 - ❖ Letakkan cetakan di atas landasan pematat dan tahan dengan pemegang cetakan.
 - ❖ Letakkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran diameter cetakan, ke dalam dasar cetakan.
 - ❖ Masukkan ½ campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras (dengan spatula yang dipanaskan) sebanyak 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya, dan masukkan ½ sisa campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras (dengan spatula yang dipanaskan) sebanyak 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali.
 - ❖ Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali tumbukan untuk lalu lintas berat.
10. Lepaskan pelat alas berikut leher sambung 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. Tumbuklah (dengan jumlah tumbukan yang sama dengan jumlah sebelumnya) terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan ini.
 12. Lepaskan keping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan benda uji.
 13. Keluarkan benda uji dengan hati-hati dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.

14. Kemudian melakukan pengujian test Marshall

A. Alat test Marshall

- a. Timbangan
- b. Mesin penguji marshall



Gambar 3.1 Skema pengujian alat Marshall

3.9 Pelaksanaan Pengujian Test Marsall

Setelah benda uji disiapkan pengujian Marshall dapat dilakukan sebagai berikut :

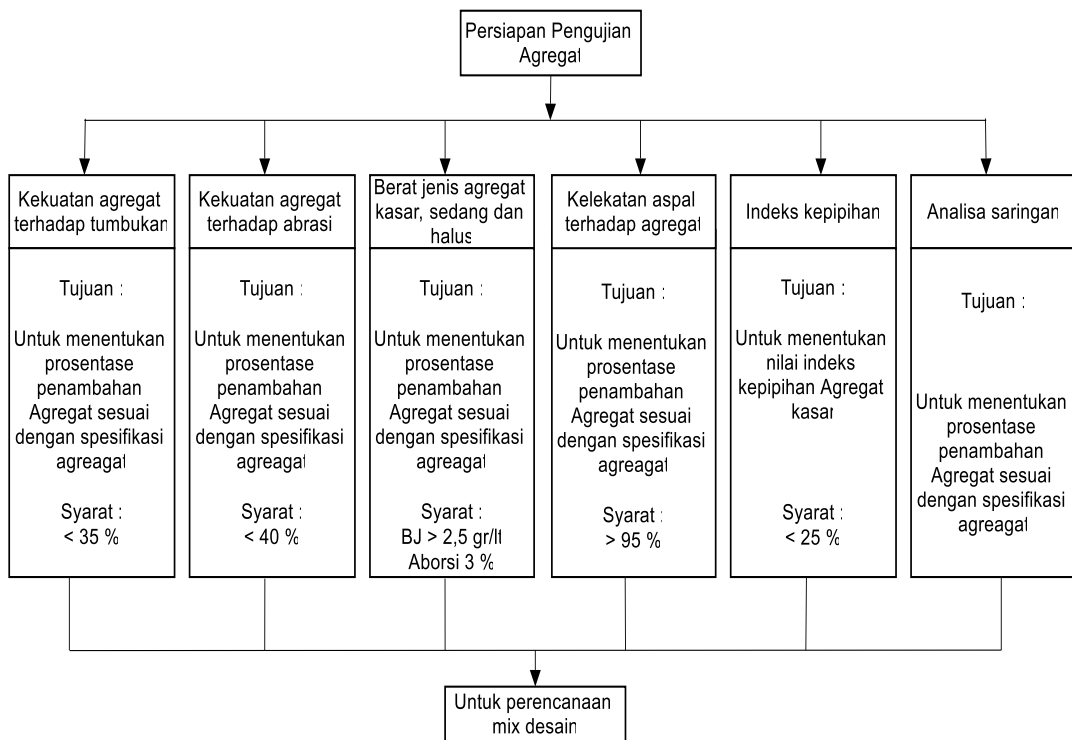
- 1. Ambil benda uji dari tempat perawatan *Water Bath*.
- 2. Letakkan benda uji pada mesin Marshall secara sentris.
- 3. Jalankan mesin uji .
- 4. Lakukan pembebanan sampai benda uji menuai kerusakan dan catatlah beban maksimum yang terjadi pada saat benda uji menuai kerusakan.
- 5. Lakukan langkah-langkah di atas sesuai dengan jumlah benda uji yang akan diperiksa.

B. Analisa data

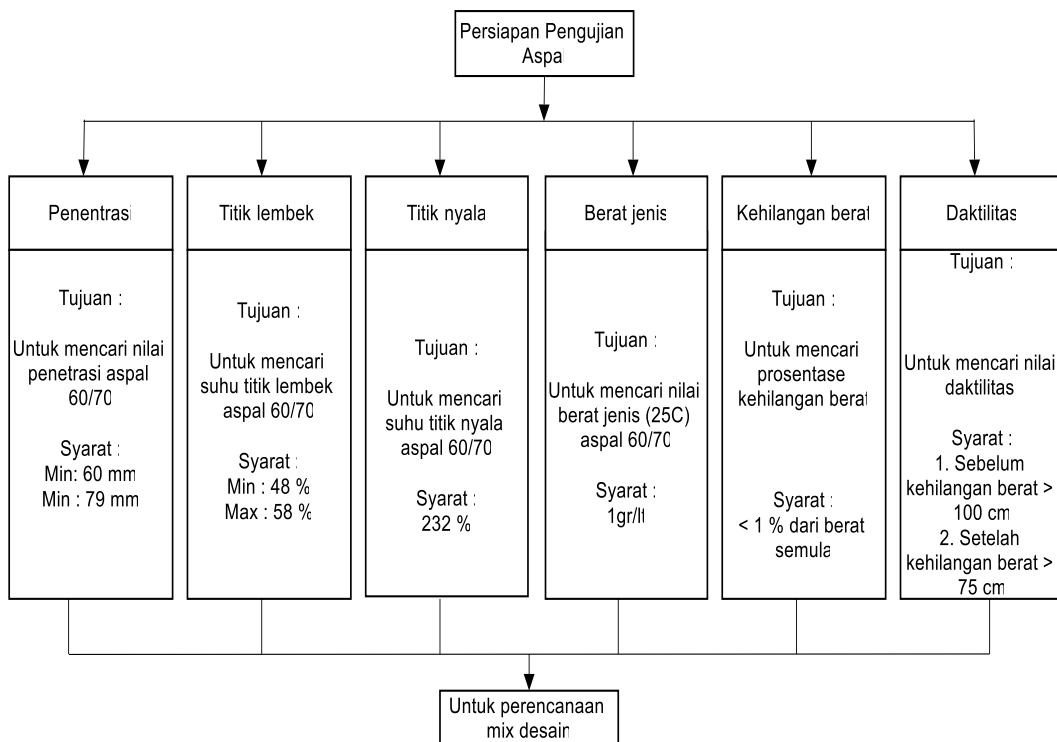
1. Laporkan kondisi pengujian dalam form, setelah menggunakan alat test Marshall.
2. Laporkan hasil-hasil percobaan dalam bentuk grafis untuk :
 - ❖ Hubungan % aspal terhadap campuran dengan % rongga udara terisi aspal.
 - ❖ Hubungan % aspal terhadap campuran dengan % rongga terhadap campuran.
 - ❖ Hubungan % aspal terhadap campuran dengan stabilitas.
 - ❖ Hubungan % aspal terhadap campuran dengan keelehan.
3. Tata cara analisis dan perhitungan hasil uji

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian akan dianalisis, yang meliputi :

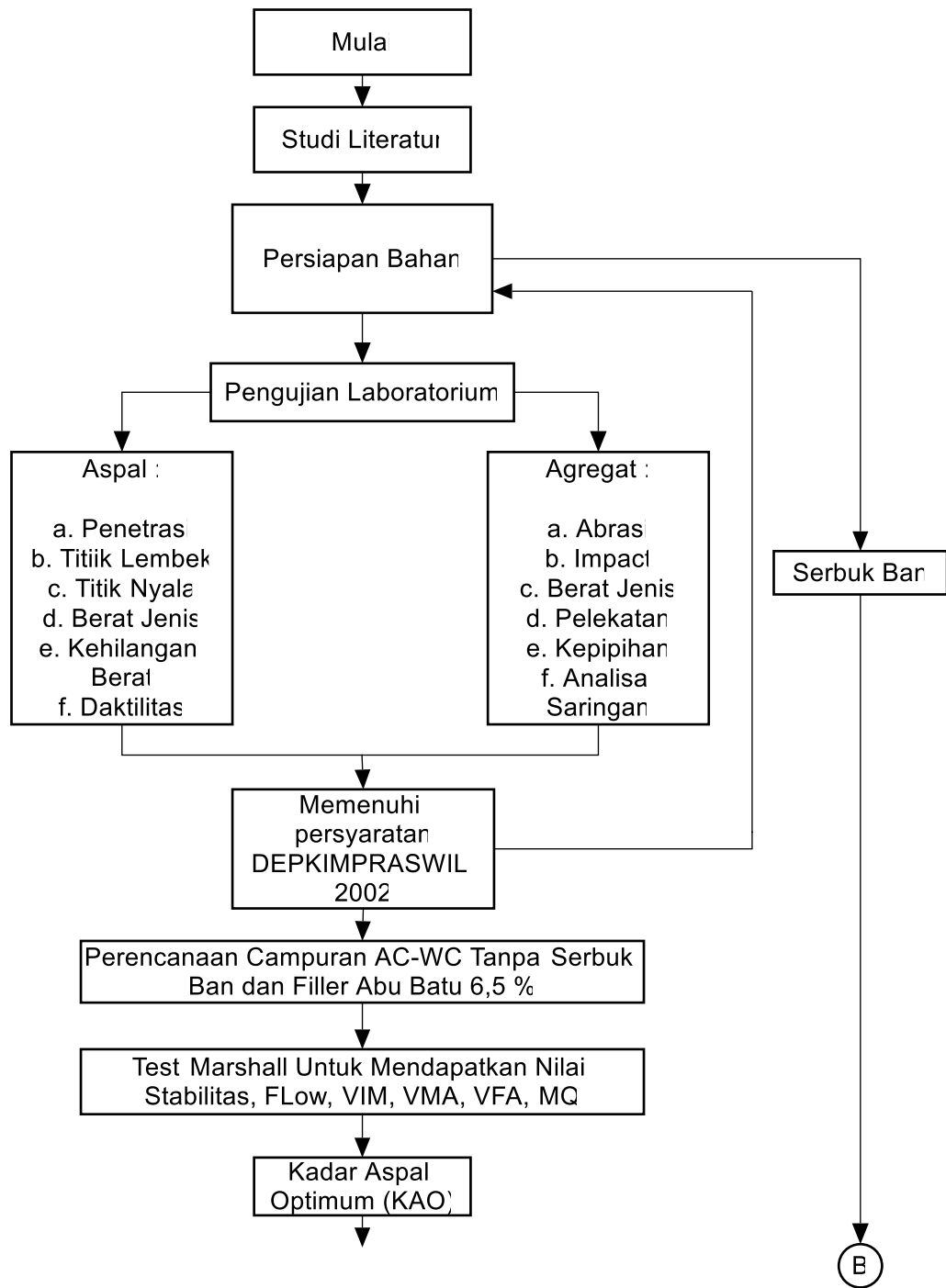
1. Isi benda uji (H)
2. Berat isi pada benda uji berat isi benda uji (*Density*)
3. Berat jenis maksimum benda uji
4. Rongga udara dalam campuran
5. Stabilitas
6. Kelelehan plastis (*Flow*)
7. Quotient marshall
8. Penyerapan agreagat terhadap aspal
9. Tebal film
10. Indeks Perendaman

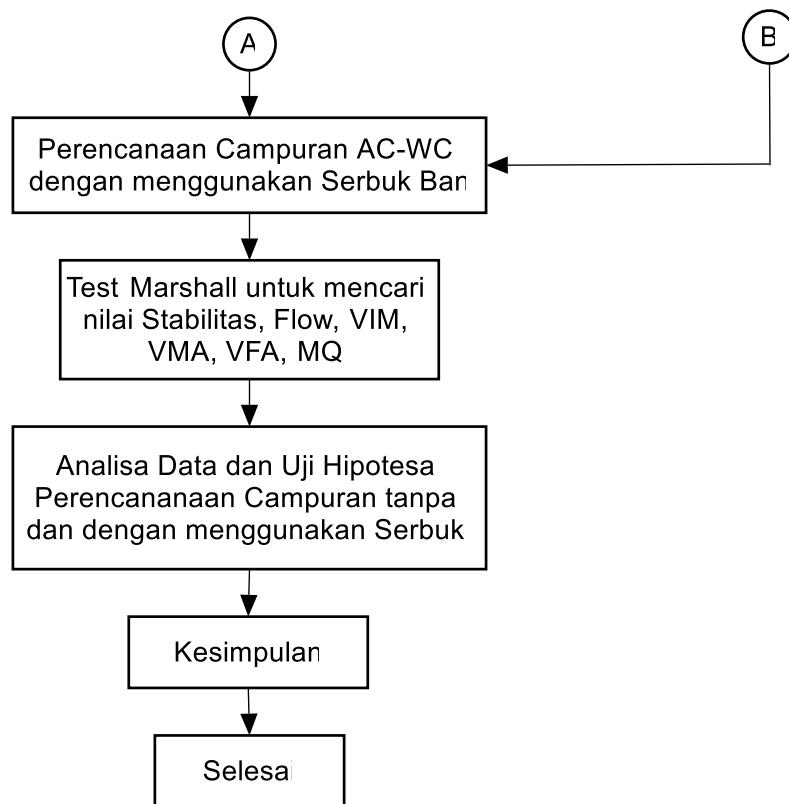


Gambar 3.3 Diagram alir pengujian agregat



Gambar 3.3 Diagram alir pengujian aspal





Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL

4.1 Hasil Pengujian Agregat

4.1.1 Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan (*Impact Value*) (*BS 812 : Part 3 : 1975*)

Pengujian ini untuk menentukan ketahanan agregat batu pecah terhadap tumbukan dengan menggunakan mesin Impact. Pengujian agregat ini di nyatakan dengan *Agregate Impact Value* (AIV). Pengujian agregat terhadap tumbukan (AIV) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan (*Aggregate Impact Value*) Agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan

			I	II
(A)	Berat benda uji	gram	500,0	500,0
(B)	Berat benda uji setelah tes dan lewat saringan # 2,36 mm BS	gram	40,1	44,4
(C)	Berat benda uji setelah tes dan tertahan saringan # 2,36 mm BS	gram	458,4	454,6
	<i>Aggregate Impact Value</i> (AIV)	(%)	8,02	8,88
	Rata-rata <i>Aggregate Impact Value</i>	(%)	8,45	

4.1.1.2 Hasil Pengujian

$$AIV = \frac{B}{A} \times 100 \%$$

Dimana :

AIV = Agregat Impact Value (%).

A = Berat awal benda uji (gr).

B = Berat lolos saringan #2,36 mm (gr), (saringan pemisah setelah proses selesai).

AIV ditentukan berdasarkan harga rata-rata dari dua pengukuran sebagai berikut :

Sample I

A = 500 gram

B = 40,1 gram

$$\text{Maka AIV : } \frac{40,1}{500} \times 100\% = 8,02 \%$$

Sample II

A = 500 gram

B = 44,4 gram

$$\text{Maka AIV : } \frac{44,4}{500} \times 100\% = 8,88 \%$$

$$\text{Maka nilai rata-rata} = \frac{8,02 + 8,88}{2} = 8,45 \%$$

Kesimpulan :

Hasil Perhitungan rata-rata agregat Impact value dari agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan didapatkan nilai sebesar 8,45 %, sedangkan persyaratan agregat impact value maksimum 30 %, maka agregat ini dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4.1.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan (*Flakines Index*) (BS 812 : Part 1 : 1975)

4.1.2.1 Maksud

Metode ini didasarkan pada klasifikasi partikel agregat sebagai benda pipih (*flaky*) dengan ketebalan (dimensi terkecilnya) kurang dari 0,6 ukuran nominalnya. Ukuran ini diambil sebagai nilai batas rata-rata dari lubang-lubang saringan yang digunakan untuk menentukan ukuran fraksi partikel.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menyeragamkan cara memperoleh indeks kepipihan atau prosentase berat agregat kasar atau pipih yang masih dapat digunakan. Pengujian indeks kepipihan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan (Flakines Indeks) Agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan

Analisa saringan		Berat ke oven = 3500 gram
Saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	Prosentase tertahan (%)
63		
50		
37,5		
28		
20		
10	1886,267	94%
7	874,067	87,4%
4	467,96	94%
Berat benda uji	M1	3500 gram
Total berat tertahan di atas 5 %	M2	3228,294 gram
Total berat lolos pada tes flakiness dari M2	M3 F	271,706 gram
Flakiness Index	$\frac{M3F \times 100}{M2}$	8,42 %

Catatan :

Flakiness Indeks = 8,42 %
(Maksimum 25%)

4.1.2.2 Hasil Pengujian

$$\text{Indeks Kepipihan (\%)} = \frac{M3F \times 100}{M2}$$

Dimana :

M2 = jumlah fraksi yang mempunyai prosentase berat tertahan lebih besar terhadap 5 % terhadap berat total (gr)

M3F = jumlah berat partikel agregat yang lolos pada alat pada kepipihan (gr).

Maka dari hasil percobaan diperoleh :

$$M1 = 3500$$

$$M2 = 3228,29$$

$$M3 = 271,706$$

$$\begin{aligned}\text{Indeks Kepipihan (\%)} &= \frac{M3 \times 100}{M2} \\ &= \frac{271,706 \times 100}{3228,29} \\ &= 8,42 \%\end{aligned}$$

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian Flakines Indeks agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan didapatkan nilai sebesar 8,42 %, maka agregat tersebut dapat digunakan. Dengan syarat maksimum 25%.

4.1.3 Pengujian Angka Angularitas (*Angularity Number*) (*BS 812 : Part 1 : 1975*)

4.1.3.1 Maksud

Pengujian ini adalah untuk menyeragamkan dengan cara memperoleh angka agularitas agregat kasar yang masih dapat digunakan. Pengujian angka angularitas ditentukan dari proporsi rongga dalam sebuah sampel agregat sesudah kompaksi. Angularitas atau adanya bagian-bagian yang bersudut pada partikel pada suatu agregat merupakan bagian yang penting karena hal ini mempengaruhi kemudahan saling mengunci (*interlocking*) antar partikel. Pengujian angka agularitas dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Penentuan Angka Angularitas (*Angularity Number*) Agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan

Uraian		berat (gram)
Berat silinder kosong	W1	3550
Berat silinder + air penuh	W2	6580
Berat air	$C=W2-W1$	3030
Percobaan I		
Berat silinder + agregat 1	W3	8590
Berat agregat 1	$W4 = W3 - W1$	5040
Percobaan II		
Berat silinder + agregat 2	W5	8410
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	4860
Percobaan III		
Berat silinder + agregat 3	W7	8500
Berat agregat 3	$W8 = W7 - W1$	4950

$$\text{Angka Angularitas} = 67 - \frac{100 \cdot M}{C \cdot G_a} = 7,14$$

Dimana :

M = Berat agregat dalam silinder rata-rata
= (W4 + W6 + W8) / 3
= Berat air diisi penuh dalam silinder

C = Berat jenis (Specific Gravity) dari agregat
(Angularity number berkisar 0-12)

4.1.3.2 Hasil Pengujian

$$\text{Angka agularitas} = 67 - \frac{100 \cdot M}{C \cdot G_a}$$

Dimana :

M = berat agregat dalam silinder (gr).

C = berat air diisi penuh dalam silender (gr).

Ga = spesific gravity dari agregat.

Maka dari hasil pengujian diperoleh :

W1 (berat silinder kosong) = 3550

W2 (berat silinder + air penuh) = 6550

Berat air, C = W2-W1

= 6550-3550

= 4950 gr

Untuk percobaan I

W3 (berat silinder+agregat) = 8590 gr

W4 (berat agregat) = W3-WI

$$= 8590 - 3550$$

$$= 5040 \text{ gr}$$

Untuk pengujian II

$$W5 \text{ (berat silinder+agregat)} = 8410 \text{ gr}$$

$$W6 \text{ (berat agregat 2)} = W5 - W1$$

$$= 8410 - 3550$$

$$= 4860 \text{ gr}$$

Untuk pengujian III

$$W7 \text{ (berat silinder+agregat 3)} = 8500 \text{ gr}$$

$$W8 \text{ (berat agregat 3)} = W3 - W1$$

$$= 8500 - 3550$$

$$= 4950 \text{ gr}$$

Angka Angularitas

$$= 67 - \frac{100 \cdot M}{C \cdot Ga} = 67 - \frac{100 (5040+4860+4950):3}{3030 \times 2,37} = 7,14$$

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian agregat yang telah dilakukan didapatkan nilai angka anggularitas sebesar 7,12 %, maka agregat tersebut dapat digunakan. Dimana angka anggularitas disyaratkan berkisar antara 0-12. Semakin besar nilai angka anggularitas maka pencampuran lebih sulit dilaksanakan namun dapat memberikan stabilitas yang tinggi karena agregat saling mengunci.

4.1.4 Pengujian Berat Isi Agregat (AASHTO T-19-74)(ASTM C-29-71)

4.1.4.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat halus, kasar atau campuran. Berat isi adalah perbandingan antara berat dan isi. Pengujian berat isi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Benerwojo Kejayan Pasuruan

Uraian	berat (gram)			
	I			
Berat silinder kosong	W1	7870		
Berat silinder + air penuh	W2	17860		
Berat air	$C = W2 - W1$	9990		
Agregat lepas				
Berat silinder + agregat	W3	22030	21840	22000
Berat agregat	$W4 = W3 - W1$	14160	13970	14130
Agregat padat dengan tusukan				
Berat silinder + agregat	W5	23450	23300	23520
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	15580	15430	15650

Agregat padat dengan goyangan				
Berat silinder + agregat 3	W7	23900	23420	23680
Berat agregat 3	$W8 = W7 - W1$	16030	15550	15810

Berat isi agregat = $\frac{W_{4,6,8}}{V}$	$W_{4,6,8}$ = Berat agregat dalam silinder V = volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder		
Berat isi agregat lepas	1,42	1,40	1,41
Berat isi agregat padat dengan tusukan	1,56	1,54	1,57
Berat isi agregat padat dengan goyangan	1,60	1,56	1,58

Catatan :	Rata-rata berat isi = 1,52		
-----------	----------------------------	--	--

4.1.4.2 Hasil Pengujian

$$\text{Berat isi} = \frac{W_4}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

Dimana :

V = volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder (dm³)

W_4 = berat benda uji (kg)

Perhitungan :

$$W1 \text{ (berat silinder kosong)} = 7870$$

$$W2 \text{ (berat silinder + air penuh)} = 17860$$

$$\text{Berat air, } C = W2 - W1$$

$$= 17860 - 7870$$

$$= 9990$$

Agregat lepas :

$$W3 \text{ (berat silinder + agregat)} = 22030 \text{ gr}$$

$$W4 \text{ (} W2 - W1 \text{)} = 14160 \text{ gr}$$

Agregat padat dengan tusukan :

$$W3 \text{ (berat silinder + agregat)} = 23450 \text{ gr}$$

$$W6 = (W2 - W) = 15580 \text{ gr}$$

Agregat padat dengan goyangan :

$$W7 \text{ (berat silinder + agregat)} = 23900 \text{ gr}$$

$$W8 = 16030 \text{ gr}$$

Maka berat isi agregat lepas :

$$= W4/C$$

$$= 14160/9990$$

$$= 1,42 \text{ (gr/dm}^3\text{)}$$

Berat isi agregat padat dengan tusukan :

$$= W6$$

$$= 15580/9$$

$$= 1,56 \text{ (gr/dm}^3\text{)}$$

Berat isi agregat padat dengan goyangan :

$$= W8/C$$

$$= 16030/3030$$

$$= 1,60 \text{ (gr/dm}^3\text{)}$$

Kesimpulan :

Dari pengujian berat isi agregat nilai terbesar didapat pada saat pengujian agregat padat dengan goyangan yaitu sebesar 1,52 gr/cm³.

4.1.5 Pengujian Analisa Saringan Kasar, Sedang dan Halus (AASHTO T-27-82) (ASTM C-136-46)

4.1.5.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (Gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Pengujian analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5, 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Benerwojo Kejayan Pasuruan

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	23,7	23,70	0,12	99,88
12,5 mm (1/2")	4530,0	4553,70	22,85	77,15
9,5 mm (3/8")	11710,0	16263,70	81,61	18,39
4,75 mm (No. 4)	3510,0	19773,70	99,22	0,78
2,36 mm (No. 8)	86,6	19860,30	99,66	0,34
2 mm (No. 10)	10,3	19870,60	99,71	0,29
1,18 mm (No. 16)	6,9	19877,50	99,74	0,26
0,71 mm (No. 25)	3,5	19881,00	99,76	0,24
0,6 mm (No. 30)	2,5	19883,50	99,77	0,23
0,425 mm (No. 40)	1,5	19885,00	99,78	0,22
0,28 mm (No. 50)	2,6	19887,60	99,79	0,21
0,15 mm (No. 100)	10,3	19897,90	99,85	0,15
0,075 mm (No. 200)	5,0	19902,94	99,87	0,13
p a n	25,8	19928,74	100,00	0,00
Total berat	19928,74			

**Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang Benerwojo
Kejayan Pasuruan**

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5 mm (3/8")	187,3	187,30	1,87	98,13
4,75 mm (No. 4)	7610,0	7797,30	77,74	22,26
2,36 mm (No. 8)	1814,0	9611,30	95,83	4,17
2 mm (No. 10)	139,0	9750,30	97,22	2,78
1,18 mm (No. 16)	96,8	9847,10	98,18	1,82
0,71 mm (No. 25)	21,7	9868,80	98,40	1,60
0,6 mm (No. 30)	4,6	9873,40	98,44	1,56
0,425 mm (No. 40)	7,2	9880,60	98,51	1,49
0,28 mm (No. 50)	5,1	9885,70	98,57	1,43
0,15 mm (No. 100)	30,7	9916,40	98,87	1,13
0,075 mm (No. 200)	103,2	10019,60	99,90	0,10
p a n	10,0	10029,60	100,00	0,00
Total berat	10029,60			

**Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Selok Awar
Pasirian Lumajang**

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	4,7	4,70	0,24	99,76
9,5 mm (3/8")	7,4	12,10	0,61	99,39
4,75 mm (No. 4)	58,5	70,60	3,54	96,46
2,36 mm (No. 8)	182,2	252,80	12,66	87,34
2 mm (No. 10)	184,9	437,70	21,92	78,08
1,18 mm (No. 16)	600,8	1038,50	52,02	47,98
0,71 mm (No. 25)	479,6	1518,10	76,04	23,96
0,6 mm (No. 30)	81,9	1600,00	80,14	19,86
0,425 mm (No. 40)	73,5	1673,50	83,82	16,18
0,28 mm (No. 50)	76,0	1749,50	87,63	12,37
0,15 mm (No. 100)	214,4	1963,90	98,37	1,63
0,075 mm (No. 200)	30,6	1994,50	99,90	0,10
p a n	2,0	1996,50	100,00	0,00
Total berat	1996,50			

Kesimpulan :

Dari hasil analisa saringan agregat kasar, sedang dan halus didapatkan prosentase lolos yang selanjutnya akan dipergunakan dalam mencari prosentase campuran (*Mix Design*).

4.1.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus (AASHTO T-84 81)

4.1.6.1 Maksud

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry = ssd), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

- a. Berat jenis (bulk specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- b. Berat jenis permukaan jenuh (SSD) ialah perbandingan antara berat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
- d. Penyerapan (absorpsi) ialah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Pengujian analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus Selok Awar Pasirian Lumajang

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	496,90	496,90	496,90
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	500,00	500,00	500,00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	665,90	663,50	664,70
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	Bt	981,10	979,70	980,40
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{(B+Bj-Bt)}$	2,69	2,70	2,70
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(B+Bj-Bt)}$	2,71	2,72	2,71
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$	2,69	2,70	2,70
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	0,62%	0,62%	0,62%

4.1.6.2 Hasil Pengujian

a. Berat jenis bulk (bulk specific gravity) = $\frac{Bk}{(B+500-Bt)}$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) = $\frac{500}{(B+500-Bt)}$

c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) = $\frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$

d. Penyerapan (absorpsi) = $\frac{(500-Bk)}{(Bk)} \times 100\%$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gr)

B = berat picnometer berisi air (gr)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dalam air (gr)

Percobaan sampel 1 : Bk = 496,90

: Bj = 500

: Bt = 981,10

Maka perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (bulk)} &= Bk / (Bj - Bt) \\ &= 496,90 / (500 - 981,10) \\ &= 2,69\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} &= Bj / (Bj - Bt) \\ &= 500 / (500 - 981,10) \\ &= 2,71\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= Bk / (Bj - Bt) \\ &= 496,90 / (500 - 981,10) \\ &= 2,69\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan} &= ((Bj - Bk) / Bk) \times 100\% \\ &= (500 - 469,90) / 469,90 \times 100\% = 0,62 \%\end{aligned}$$

Percobaan sampel 2 : Bk = 496,90

: Bj = 500

: Bt = 979,70

Maka perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis (bulk)} &= Bk / (Bj - Bt) \\ &= 496,90 / (500 - 979,70) \\ &= 2,70\end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = Bj / (Bj - Bt)$$

$$= 500 / (500 - 979,70)$$

$$= 2,72$$

Berat jenis semu $= B_k / (B_j - B_t)$

$$= 496,90 / (500 - 979,70)$$

$$= 2,70$$

Penyerapan $= ((B_j - B_k) / B_k) \times 100\%$

$$= (500 - 469,90) / 469,90 \times 100\% = 0,62 \%$$

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai rata – rata :

Berat jenis (bulk) $= 2,70$

Berat jenis kering permukaan jenuh $= 2,71$

Berat jenis semu $= 2,70$

Penyerapan $= 0,62$

Kesimpulan :

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dari Selok Awar Pasirian Lumajang didapat berat jenis sebesar 2,71 dan penyerapan 0,62. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis $> 2,5$ dan penyerapan < 3 .

4.1.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-84 81)

4.1.6.1 Maksud

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry = ssd), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar.

- a. Berat jenis (bulk specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- b. Berat jenis permukaan jenuh (SSD) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
- d. Penyerapan ialah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Pengujian analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar Benerwojo Kejayan Pasuruan

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4950	4930	4940
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B _t	3193,6	3186	3189,8
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_t}$	2,74	2,72	2,73
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_t}$	2,77	2,76	2,76
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_t}$	2,82	2,83	2,82
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,01%	1,42%	1,21%

4.1.6.2 Hasil Pengujian

a. Berat jenis bulk (bulk specific gravity) = $\frac{Bk}{(B+500-Bt)}$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) = $\frac{500}{(B+500-Bt)}$

c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) = $\frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$

d. Penyerapan (absorpsi) = $\frac{(500-Bk)}{(Bk)} \times 100 \%$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gr)

B = berat picnometer berisi air (gr)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dalam air (gr)

Percobaan sampel 1 : Bk = 4950

: Bj = 5000

: Bt = 3193,6

Maka perhitungan :

Berat jenis (bulk) = $Bk / (Bj-Bt)$
= $4950 / (5000 - 3193,6)$
= 2,74

Berat jenis kering permukaan jenuh = $Bj / (Bj-Bt)$
= $5000 / (5000 - 3193,6)$
= 2,77

Berat jenis semu = $Bk / (Bj-Bt)$
= $4950 / (5000-3193,6)$
= 2,82

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= ((B_j - B_k) / B_k) \times 100\% \\ &= (5000 - 4950) / 5000 \times 100\% = 1,01\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan sampel 2} : B_k &= 4930 \\ &: B_j = 5000 \\ &: B_t = 3186 \end{aligned}$$

Maka perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (bulk)} &= B_k / (B_j - B_t) \\ &= 4930 / (5000 - 3186) \\ &= 2,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis kering permukaan jenuh} &= B_j / (B_j - B_t) \\ &= 5000 / (5000 - 3186) \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= B_k / (B_j - B_t) \\ &= 4930 / (5000 - 3186) \\ &= 2,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= ((B_j - B_k) / B_k) \times 100\% \\ &= (5000 - 4930) / 4930 \times 100\% = 1,42\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai rata – rata :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = 2,73$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = 2,76$$

$$\text{Berat jenis semu} = 2,82$$

$$\text{Penyerapan} = 1,21$$

Kesimpulan :

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dari Benerwojo Kejayan Pasuruan didapat berat jenis sebesar 2,73 dan penyerapan 1,21. Maka

dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis > 2,5 dan penyerapan < 3.

4.1.9 Pengujian Keausan Agregat Dengan Alat Abrasi Los Angles (AASHTO T-96-77 (1982))

4.1.9.1 Maksud

Pengujian ini adalah untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang lebih kecil dari 37,5 mm (1 ½") terhadap keausan menggunakan alat *Los Angeles*. Pengujian analisa saringan dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Benerwojo Kejayan Pasuruan Dengan Alat Abrasi Los Angles

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 20 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76, m 20 m (3")	63, m 50 m (2,5")				
63, m 50 m (2,5")	50, m 80 m (2")				
50, m 80 m (2")	37, m 50 m (1,5")				
37, m 50 m (1,5")	25, m 40 m (1")				
25, m 40 m (1")	19, m 00 m (3/4")				
19, m 00 m (3/4")	12, m 50 m (1/2")				
12, m 50 m (1/2")	9,5 m 0 m (3/8")	2500			

m	m				
9,5 m (3/8" 0 m)	6,3 m (1/4" 0 m ")	2500			
6,3 m (1/4" 0 m)	4,7 m (No. 5 m 4)				
4,7 m (No. 5 m 4)	2,3 m (No. 8 m 8)				
Jumlah berat		5000			
Berat tertahan saringan no 12			4180		

		I	II	
a	Berat benda uji semula	5000		gram
b	Berat benda uji tertahan s/d saringan No.12	4180		gram
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	17,97		%

Catatan :	Keausan = 17,97 % < 40 %
-----------	--------------------------

4.1.9.2 Hasil Pengujian

Perhitungan :

$$\text{Nilai keausan Los Angeles} = \frac{a-b}{a} \times 100 \%$$

Dimana :

a = berat benda uji semula (gr)

b = berat benda uji tertahan disaringan No. #12 dan No #4 (gr)

Keausan dilaporkan sebagai bilangan bulat dalam persen.

$$\begin{aligned} \text{Nilai keausan Los Angeles} &= (5000 - 4180) / 5000 \times 100 \% \\ &= 17,97 \% \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Dari hasil percobaan didapatkan nilai = 17,97 %, maka memenuhi syarat ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena kurang dari < 40%, apabila lebih dari 40% maka agregat tersebut lunak yang artinya tidak dapat digunakan.

4.2 Hasil Pengujian Aspal

4.2.1 Pengujian Penetrasi Aspal (*AASHTO T-49-80*) (*ASTM D-5-71*)

4.2.1.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum ukuran tertentu, beban, dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian penetrasi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam	: 08.50 WIB	140 °C
	Selesai jam	: 10.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam	: 11.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 12.30 WIB	

Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C		Pembacaan suhu termometer
	Mulai jam	: 12.30 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 13.30 WIB	

Penetrasi pada 25°C dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	6 7	68	69	71	71
Benda uji II	6 2	62	65	65	66
Rata-rata	66,60				

Catatan :	Rata-rata penetrasi = 66,60 (10 ⁻¹ mm)
-----------	--

4.2.2 Hasil Pengujian

Nilai penetrasi dinyatakan sebagai rata-rata dari sekurang-kurangnya 3 pembacaan dengan ketentuan bahwa hasil-hasil pembacaan tidak melampaui ketentuan persyaratan.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat

Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam	: 17.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 18.30 WIB	

Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C		Pembacaan suhu termometer
	Mulai jam	: 17.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 18.00 WIB	

Penetrasi pada 25°C dengan beban 100 gr, jangka waktu 5 detik :

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	67	56	50	64	60
Benda uji II	65	50	56	52	55
Rata-rata	57,50				

Catatan :

Rata-rata penetrasi setelah kehilangan berat =
 $57,50(10^{-1} \text{ mm})$
 (86,34 % dari penetrasi sesudah kehilangan berat. Syarat :
 Minimum 75%)

Kesimpulan :

1. Hasil pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 66,60.
2. Hasil pengujian penetrasi aspal setelah kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 57,50.
3. Dari kedua pengujian tersebut $\frac{57,50}{66,60} \times 100 \% = 86,34 \%$, dengan persyaratan sesudah kehilangan berat minimal 75 % dan sebelum kehilangan berat minimal 79 %, sehingga hasil pengujian memenuhi persyaratan.

4.2.2 Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar (AASHTO T 48-81) (ASTM D-92-52)

4.2.2.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan-bahan lainnya yang mempunyai titik nyala oven cup kurang dari 79°C. Titik nyala adalah suhu

pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal. Pengujian penetrasi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal 140 °C
	Mulai jam	: 08.50 WIB	
	Selesai jam	: 09.50 WIB	
Menuang contoh	Penuangan contoh		Pembacaan suhu menuang 140 °C
	Mulai jam	: 09.50 WIB	
	Selesai jam	: 10.00 WIB	
Kenaikan suhu contoh	Sampai 56°C di bawah titik nyala		
	Mulai jam	: 10.31 WIB	15°C per menit
	Selesai jam	: 10.44 WIB	
	antara 56 s/d 28°C di bawah titik nyala		
	Mulai jam	: 10.44 WIB	5°C s/d 6°C per menit
	Selesai jam	: 10.46 WIB	

°C di bawah titik nyala	Waktu	°C	Titik Nyala
56	10.43 WIB	264	
51	10.44 WIB	269	
46	10.44 WIB	274	
41	10.44 WIB	279	
36	10.44 WIB	284	
31	10.44 WIB	289	
26	10.45 WIB	294	
21	10.45 WIB	299	302 nyala
16	10.46 WIB	304	304 bakar

Catatan

:

Titik nyala = 302 °C, Titik bakar = 304 °C

4.2.2.2 Hasil Pengujian

Hasil rata-rata pengujian ganda (duplo) dilaporkan sebagai titik nyala pada benda uji sebagai berikut :

10.45", (302) Titik Nyala

10.46", (304) Titik Bakar

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian, titik nyala didapatkan sebesar 302°C yaitu pada saat kondisi alat penguji menyala dan titik bakar 304°C, dan dimana titik nyala telah memenuhi persyaratan aspal keras dengan penetrasi 60/70 yaitu minimal 232°C.

4.2.3 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter (AASHTO T-53-89)

4.2.3.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu, mendesak turun suatu aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal dan tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Pengujian penetrasi dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Sebelum Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam : 11.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5°C	Pembacaan suhu es
	Mulai jam : 12.30 WIB	0 °C
	Selesai jam : 12.43 WIB	
Pemeriksaan titik lembek	Mulai jam : 12.43 WIB	
	Selesai jam : 13.12 WIB	

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		12.43	12.43		
5		12.49	12.49		
10		12.54	12.54		
15		12.57	12.57		
20		12.59	12.59		
25		13.01	13.01		
30		13.02	13.02		
35		13.04	13.04		
40		13.06	13.06		
45		13.08	13.08		
50		13.10	13.10		
55		13.12	13.12	13.11 (53° C)	13.12 (55° C)

Catatan :

Titik lembek setelah kehilangan berat
= 54 °C

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Sesudah Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		Pembacaan suhu es 0 °C
	Mulai jam	: 16.00 WIB	
	Selesai jam	: 17.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5°C		Pembacaan suhu es 0 °C
	Mulai jam	: 18.30 WIB	
	Selesai jam	: 18.45 WIB	
Pemeriksaan titik lembek	Mulai jam	: 18.45 WIB	Pembacaan suhu es 0 °C
	Selesai jam	: 19.06 WIB	

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		18.45	18.45		
5		18.47	18.47		
10		18.51	18.51		
15		18.54	18.54		
20		18.56	18.56		
25		18.58	18.58		
30		18.59	18.59		
35		19.01	19.01		
40		19.03	19.03		
45		19.04	19.04		
50		19.06	19.06	19.06 (49° C)	19.07 (52° C)

Catatan :

Titik lembek setelah kehilangan berat
= 50 °C

4.2.3.2 Hasil Pengujian

Suhu pada saat setiap bola baja menyentuh pelat dasar dilaporkan, suhu titik lembek bahan bersangkutan dari hasil pengamatan rata-rata dilaporkan dan dibulatkan sampai 0,5°C terdekat untuk tiap percobaan ganda(duplo).

Kesimpulan :

Hasil pengamatan titik lembek aspal sebelum kehilangan berat adalah 54 °C, sedangkan pada pemeriksaan titik lembek sesudah kehilangan berat adalah 50 °C. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk titik lembek aspal yang ditentukan yaitu minimum 48 °C dan maksimum 58 °C. Sehingga aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4.2.4 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal (AASHTO T-51-81)

4.2.4.1 Maksud

Pengujian ini adalah untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tertarik. Fungsi dari pengujian ini untuk mengetahui sifat getas dari aspal tersebut, aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian daktilitas aspal dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.15 dan 4.16.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB	140 °C
	Selesai jam : 10.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam : 11.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	25 °C
	Selesai jam : 12.30 WIB	

Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam	: 12.30 WIB	Pembacaan suhu alat
	Selesai jam	: 13.00 WIB	25°C

Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :

Pengamatan	1	2
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm
Rata-rata	> 100 cm	

Catatan :

Daktilitas sebelum kehilangan berat =
> 100 cm

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai jam	: 16.00 WIB	
	Selesai jam	: 17.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam	: 17.00 WIB	25 °C
	Selesai jam	: 18.30 WIB	

Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam	: 18.30 WIB	Pembacaan suhu alat
	Selesai jam	: 19.00 WIB	25°C

Daktilitas pada 25°C dengan kecepatan mesin 5 cm per menit :

Pengamatan	1	2
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm
Rata-rata	> 100 cm	

Catatan :

Daktilitas setelah kehilangan berat = >
100 cm

4.2.4.2 Hasil Pengujian

Hasil rata-rata dari tiga benda uji normal diamati sebagai harga daktilitas contoh tersebut. Apabila benda uji menyetuh dasar mesin uji atau terpanjang pada permukaan air maka pengujian dianggap gagal dan tidak normal. Untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda uji dengan menambah methyl alkohol atau sodium klorida.

Kesimpulan :

1. Hasil pengujian daktilitas aspal sebelum dan sesudah kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 100 cm
2. Kedua daktilitas tersebut memenuhi syarat Depkimpraswil 2002 yaitu minimum 100 cm

4.2.5 Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter (AASHTO T-51-81)

4.2.5.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dengan piknometer. Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat bitumen adan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Fungsi dari pengujian ini untuk mengetahui kemurnian aspal tersebut tanpa tercampur bahan lain. Aspa yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian berat jenis aspal dan ter dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB	140 °C
	Selesai : 10.00 jam WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB	27 °C
	Selesai : 11.00 jam WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	25 °C
	Selesai : 12.30 jam WIB	
Pemeriksaan Berat Jenis	Mulai jam : 12.30 WIB	Pembacaan suhu water bath
	Selesai : 12.40 jam WIB	25°C

	Sampel I	Sampel II
Berat piknometer + air	65,9	65,9
Berat piknometer	28,8	28,8
Berat air (= isi piknometer)	37,1	37,1
Berat piknometer + contoh	50,6	53,3
Berat piknometer	28,8	28,8
Berat contoh	21,8	24,5
Berat pikno + air + contoh	66,3	66,5
Berat piknometer + contoh	50,6	53,3
Berat air	16	13,2
Isi bitumen	21,4	23,9
Berat Jenis :		
$\frac{\text{Berat contoh}}{\text{Berat air sebanyak isi bitumen}}$	1,02	1,03

Catatan : Berat jenis = 1,025

4.2.5.2 Hasil Pengujian

Hitunglah berat jenis dengan rumus :

$$BJ = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Dimana :

- A = berat piknometer (dengan penutup) (gr)
- B = berat piknometer berisi air (gr)
- C = berat piknometer berisi aspal (gr)
- D = berat piknometer berisi aspal dan air (gr)

Kesimpulan :

Hasil pengujian berat jenis aspal penetrasi 60/70 pada sampel I didapatkan sebesar 1,02 dan sampel II didapatkan 1,028 dari kedua sampel diambil rata-rata didapatkan sebesar 1,025 , dari hasil pengujian tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk pengujian berat jenis aspal yang ditentukan sebesar yaitu minimum 1.

4.2.6 Hasil Pengujian Penurunan Berat Minyak Dan Aspal (AASHTO T-226-79)

4.2.6.1 Maksud

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar minyak yang terkandung didalam aspal, semakin lama aspal terkena panas akan semakin turun kadar minyaknya. Aspal yang digunakan aspal penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina. Pengujian penirinan berat minyak dan aspal dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.18

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak Dan Aspal

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam	: 08.50 WIB	150 °C
	Selesai jam	: 10.00 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam	: 10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam	: 11.00 WIB	

Pemeriksaan kehilangan berat pada 163°C	Mulai jam	: 11.00 WIB	Pembacaan suhu dlm contoh 163 °C
	Selesai jam	: 16.00 WIB	

	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Sampel IV
Berat cawan + aspal keras	69,6	69,4	69,7	
Berat cawan kosong	13,2	13,1	13	
Berat aspal keras	56,4	56,3	56,7	
Berat sebelum pemanasan	69,6	69,4	69,7	
Berat sesudah pemanasan	69,4	69,3	69,6	
Kehilangan berat	0,2	0,1	0,1	
Kehilangan berat dlm %	0,287	0,144	0,143	
Rata-rata (%)	0,192			

<p>Catatan :</p> <p>Kehilangan berat rata-rata = 0,192 %</p>
--

4.2.6.2 Hasil Pengujian

Hitunglah penurunan berat dengan rumus :

$$\text{Penurunan berat} = \frac{A - B}{A} \times 100 \%$$

Dimana :

A = berat cawan + contoh sebelum diuji (gr)

B = berat cawan + contoh setelah diuji (gr)

Untuk Thin Film Oven Test bandingkan nilai penetrasi, titik lembek dan daktilitas sebelum dan setelah dimasukkan dalam oven.

Perhitungan :

Pada sampel I :

$$A = 69,6$$

$$B = 69,4$$

$$\text{Penurunan berat} = \frac{69,6 - 69,4}{69,4} \times 100\% = 0\%$$

Dengan cara rata-rata didapatkan hasil pengujian untuk sampel I, II dan III adalah 0,192 %

$$\text{Rata - rata} = \frac{(0,287 + 0,144 + 0,143)\%}{3} = 0,192\%$$

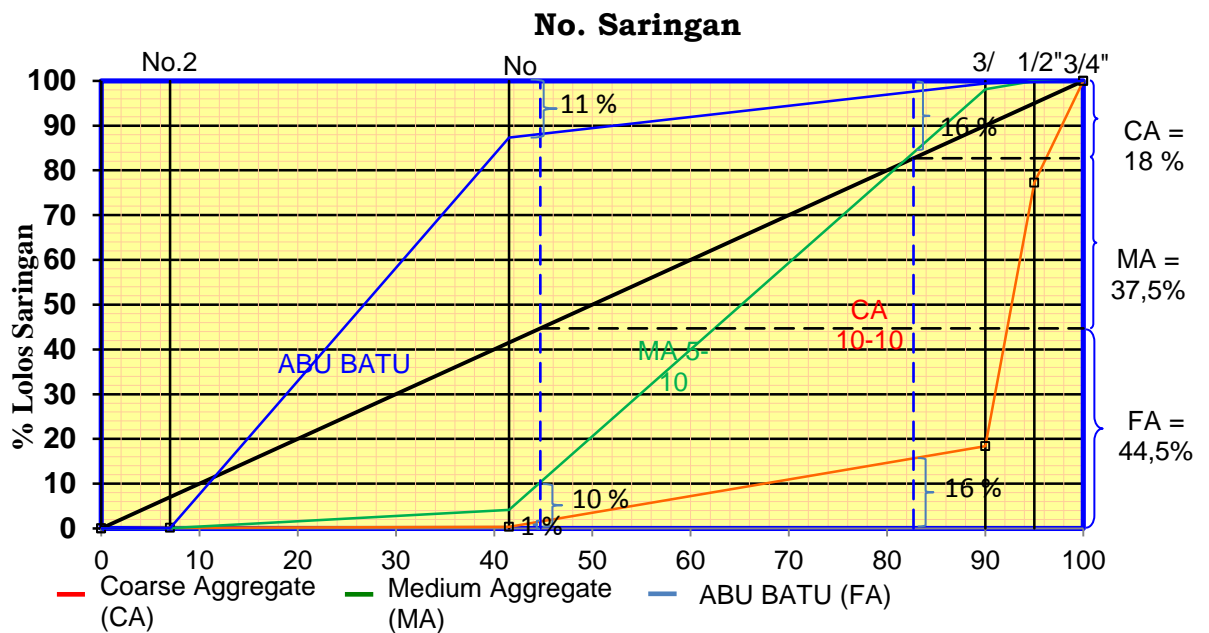
Kesimpulan :

Hasil pengujian penuruna berat minyak dan aspal dan aspal didapatkan nilai sebesar 0,192 %, maka aspal tersebut memenuhi persyaratan Depkimprawil 2002 yaitu maksimum 0,4 %.

4.3 Perencanaan Komposisi Campuran

4.3.1 Perhitungan Prosentase Agregat Dengan Metode Grafis

Setelah dilakukan pemeriksaan dan analisa gradasi untuk mengetahui berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing-masing saringan, maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode Grafis seperti pada grafik dan tabel komposisi campuran agregat dibawah ini :



Keterangan :
 - Garis 1 : Agregat Halus = Agregat Kasar + Agregat Sedang
 - Garis 2 : Agregat Sedang = Agregat Kasar

Gambar 4.1 Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat

Dengan cara coba-coba

➤ Garis I : 11 % FA = 1 % CA + 10 % MA

➤ Garis 2 : 16 % MA = 16 % CA

Garis 1 dengan garis diagonal didapatkan

FA = 44,5 %

Garis 2 dengan garis diagonal didapatkan

CA = 18 %

Sehingga $MA = 100 \% - FA - CA$

$$= 100 \% - 44,5 \% - 10,5 \%$$

$$MA = 37,5 \%$$

Hasil dari plot grafik diatas didapatkan prosentase agregat yang belum termasuk Filler (FF) sebagai berikut :

CA = 18 %

MA = 37,5 %

FA = 44,5 %

Tabel 4.18 Komposisi Campuran Prosentase Agregat Spesifikasi AC-WC

Ukuran Saringan		CA 10/10	MA 5/10	FA 0/5	FF	CA 10/10	MA 5/10	FA 0/5	FF	Total	Speifikasi AC-WC
		%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	16.83	35.06	41.61	6.5		
3/4"	19 mm	100	100	100	100	16.83	35.06	41.61	6.5	100.00	100-100
1/2"	12,5 mm	77.24	100.00	99.76	100	13.00	35.06	41.51	6.5	96.07	90-100
3/8"	9,5 mm	18.41	98.13	99.39	100	3.10	34.41	41.36	6.5	85.36	MAX 90
No.8	2,36 mm	0.34	4.17	87.34	100	0.06	1.46	36.34	6.5	44.36	25-58
No.200	0,075 mm	0.13	0.10	0.10	100	0.02	0.03	0.04	6.5	6.60	43012

Langkah Perhitungan untuk menentukan filler (FF) :

$$\begin{aligned} \text{➤ } CA_2 &= CA_1 \times \left(\frac{100-ff}{100} \right) \\ &= 18 \times \left(\frac{100-6,5}{100} \right) \\ &= 16,83 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } MA_2 &= MA_1 \times \left(\frac{100-ff}{100} \right) \\ &= 37,5 \times \left(\frac{100-6,5}{100} \right) \\ &= 35,06 \% \end{aligned}$$

$$\text{➤ } NS_2 = FA_1 \times \left(\frac{100-ff}{100} \right)$$

$$= 44,5 \times \left(\frac{100-6,5}{100} \right)$$

$$= 41,61 \%$$

Maka didapatkan prosetase campuran, % CA₂ + % MA₂ + % NS₂ + % FF = 100 %
 16,83 % + 35,06 % + 41,61 % + 6,5 % = 100 %

4.4 Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal

Setelah Proporsi masing-masing agregat diketahui, maka dilakukan perhitungan kadar aspal awal yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal berdasarkan Depkimpraswil 2002 dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = 0,035 \times (CA_2 + MA_2) + (0,045 \times FA_2) + (0,18 \times FF) + K$$

Dimana :

P = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

FF = Persen agregat minimal 75 % lolos saringan no. 200

K = konstanta (0,5-1 untuk laston dan 2-3 untuk lastaston)

Prosentase agregat komposisi spesifikasi AC-WC sebagai berikut :

CA = 16,83 %

MA = 35,06 %

FA = 41,61 %

FF = 6,5 %

Berdasarkan rumus diatas, pada komposisi campuran Asphalt Concret Wearing Course (AC-WC) didapat nilai aspal tengah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 0,035 \times (CA_2 + MA_2) + (0,045 \times FA_2) + (0,18 \times FF) + 0,75 \\
 &= 0,035 \times (16,83 + 35,06) + (0,045 \times 41,61) + (0,18 \times 6,5) + 0,75 \\
 &= 5,61 \gg \text{Dibulatkan menjadi } 6,0 \text{ (Konstanta)}.
 \end{aligned}$$

Jika kadar aspal yang diperoleh dibulatkan menjadi a%, maka digunakan variasi (a-1)%, (a-0,5)%, (a)%, (a+0,5)%, (a+0,5)% dan (a+1)%, untuk mencari kadar aspal optimum dengan asphalt tengah 6 % dibuat dengan 5 variasi kadar aspal sebagai berikut :

5 %, 5,5 %, 6 % , 6,5 %, 7 %

Tabel 4.19 Perencanaan Komposisi Campuran

Persentase Aspal		5	5.5	6	6.5	7
CA 10/10	16.83 %	191.9	190.9	189.8	188.8	187.8
MA 5/10	35.06 %	399.7	397.6	395.5	393.4	391.3
FA 0/5	41.61 %	474.3	471.8	469.3	466.8	464.3
FF	6.50 %	74.1	73.7	73.3	72.9	72.5
total	100 %	1140	1134	1128	1122	1116

brt aspal	gr	60	66	72	78	84
brt agregat	gr	1140	1134	1128	1122	1116
total	gr	1200	1200	1200	1200	1200

Contoh perhitungan untuk variasi kadar aspal 5 %

Kadar aspal total yang dibutuhkan :

$$\text{Kadar aspal } 5 \% \times 1200 = 60 \text{ gr}$$

$$\text{Total Berat} = 1200 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Aspal} = 60 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat Total agregat} &= 1140 \text{ gr} \\
\text{Agregat Kasar} &= 16,83 \% \times 1140 = 191,9 \text{ gr} \\
\text{Agregat Sedang} &= 35,06 \% \times 1140 = 399,7 \text{ gr} \\
\text{Agregat Halus} &= 41,61 \% \times 1140 = 6,50 \text{ gr} \\
\text{Filler} &= 6,5 \% \times 1140 = \underline{74,1 \text{ gr} +} \\
\text{Berat Total Aspal + Agregat + Filler} &= 1200 \text{ gr}
\end{aligned}$$

Tabel 4.20 Perencanaan Komposisi Campuran Serbuk Ban

Persentase Serbuk ban		10	20	30	40	50
CA 10/10	15.81 %	189.7	189.7	189.7	189.7	189.7
MA 5/10	32.94 %	395.3	395.3	395.3	395.3	395.3
FA 0/5 asli	39.09 %	469.1	469.1	469.1	469.1	469.1
FA 0/5 baru	%	422.2	375.3	328.4	281.4	234.5
FF	6.11 %	73.3	73.3	73.3	73.3	73.3
Aspal KAO	6.05 %	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6
Serbuk ban		46.9	93.8	140.7	187.6	234.5
total	100 %	1200	1200	1200	1200	1200

Contoh perhitungan setiap prosentase

$$\begin{aligned}
\text{CA 10/10} &= \text{CA \%} \times (100 - \text{KAO})/100 \\
&= 16,83 \times (100 - 6,15)/100 \\
&= 15,79 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{MA 5/10} &= \text{MA \%} \times (100 - \text{KAO})/100 \\
&= 35,06 \times (100 - 6,15) \\
&= 32,91 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{FA 0/5} &= \text{FA \%} \times (100 - \text{KAO})/100 \\
&= 41,61 \times (100 - 6,15)/100 \\
&= 39,05 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FF (Filler)} &= \text{FF \%} \times (100 - \text{KAO})/100 \\
 &= 6,50 \times (100 - 6,15)/100 \\
 &= 6,10 \%
 \end{aligned}$$

$$\text{KAO} = 6,15 \%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Pesentase} &= \text{CA} + \text{MA} + \text{FA} + \text{FF} + \text{KAO} \\
 &= 15,80 + 32,91 + 39,05 + 6,10 + 6,15 = 100 \% \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan kadar serbuk 10 %

$$\begin{aligned}
 \text{CA 10/10} &= (\text{CA} \times \text{Berat total komposisi})/100 \\
 &= (15,79 \times 1200)/100 \\
 &= 189,5 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MA 5/10} &= (\text{MA} \times \text{Berat total komposisi})/100 \\
 &= (32,91 \times 1200)/100 \\
 &= 394,9 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FA 0/5 (Asli)} &= (\text{FA} \times \text{Berat total komposisi})/100 \\
 &= (39,05 \times 1200)/100 \\
 &= 468,6 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FA 0/5(Baru)} &= (100 - \text{Kadar Serbuk}) \times (\text{FA(Asli)}/100) \\
 &= (100 - 10) \times (468,6/100) \\
 &= 421,7 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FF (Filler)} &= (\text{FF} \times \text{Berat total komposisi})/100 \\
 &= (6,10 \times 1200)/100 \\
 &= 73,2 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\text{KAO} = (\text{KAO} \times \text{Berat total komposisi})/100$$

$$= (6,15 \times 1200)/100$$

$$= 73,8 \text{ gr}$$

$$\text{Serbuk Ban} = (\text{FA} \times \text{Kadar Serbuk})/100$$

$$= (468,6 \times 10)/100$$

$$= 46,9 \text{ gr}$$

$$\text{Jadi total berat komposisi} = \text{CA} + \text{MA} + \text{FA} + \text{FF} + \text{KAO} + \text{Serbuk Ban}$$

$$= 189,5 + 394,9 + 421,7 + 73,8 + 73,2 + 46,9$$

$$= 1200 \text{ gr (Memenuhi)}$$

4.5 Marshal Test

4.5.1 Maksud dan Tujuan

Metode pengujian campuran aspal ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Sedangkan tujuan dari pengujian ini adalah untuk menyeragamkan cara mendapat suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan- ketentuan yang telah ditetapkan dalam kriteria perencanaan. Hasil-hasil dari pengujian dijadikan acuan dalam mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Pengujian Marshall dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Nasional Malang.

4.5.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian Marshall Test didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

a. Stabilitas (Kg)

- b. Flow (mm)
- c. Prosentase rongga terhadap campuran VIM (%)
- d. Prosentase rongga terhadap agregat VMA (%)
- e. Prosentase rongga terhadap aspal VFA (%)
- f. Marshall Quotient (Kg/mm)
- g. Indeks Perendaman

Nilai stabilitas Marshall ditunjukkan dengan beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji sebelum terjadi kerutuhan. Sedangkan nilai flow ditentukan oleh besarnya nilai deformasi pada saat pembacaan arloji ketika terjadi beban maksimum yang diterima benda uji sebelum kerutuhan.

Dari data tersebut diatas , selanjutnya dibuat grafik hubungan antara lain :

- a. Prosentase Aspal (%) terhadap Stabilitas (Kg)
- b. Prosentase Aspal (%) terhadap Flow (mm)
- c. Prosentase Aspal (%) terhadap VIM (%)
- d. Prosentase Aspal (%) terhadap VMA (%)
- e. Prosentase Aspal (%) terhadap VFA (%)
- f. Prosentase Aspal (%) terhadap Marshall Quotient (Kg/mm)
- g. Indeks Perendaman

BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

5.1.1 Data Hasil Test Marshall

Data pengujian Marshall kemudian dihitung menggunakan software

Microsoft Excel XP dan hasilnya didapatkan sebagai berikut :

Tabel 5.1 Perhitungan Test Marshall 30 Menit Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit 60°C

Kadar Aspal		5%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,13	10,2	10,13	10,13	10,3
b	Tinggi 1 (cm)	6,5	6,4	6,76	6,88	6,59
c	Tinggi 2 (cm)	6,7	6,4	6,62	6,82	6,55
d	Tinggi 3 (cm)	6,6	6,5	6,72	6,81	6,54
f	Tinggi rata-rata (mm)	66,0	64,3	67,0	68,4	65,6
g	% aspal thd agregat	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
h	% aspal thd campuran	5	5	5	5	5
i	Berat sampel (gram)	1183	1165,6	1162,8	1196,5	1166
j	Berat SSD (gram)	1184,7	1165,6	1165,3	1198,9	1166,4
k	Berat dalam air (gram)	669,3	663	665,1	675,6	665,9
l	Isi (gram)	515,4	502,6	500,2	523,3	500,5
m	Berat isi	2,295	2,319	2,325	2,286	2,330
n	BJ maksimum teoritis	2,477	2,477	2,477	2,477	2,477
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	11,197	11,313	11,340	11,153	11,364
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	81,447	82,293	82,489	81,133	82,667
q	Jumlah kandungan rongga (%)	7,356	6,394	6,171	7,713	5,969
r	% rongga thd agregat VMA	18,553	17,707	17,511	18,867	17,333
s	% rongga terisi aspal VFA	60,351	63,890	64,760	59,117	65,564
t	% rongga dlm campuran VIM	7,339	6,377	6,154	7,697	5,952
u	Pembacaan arloji stabilitas	72	70	63	73	65
v	lbf	2116,80	2058,00	1852,20	2146,20	1911,00
w	kg	941,59	915,44	823,90	954,67	850,05
x	koreksi (tebal)	0,94	0,98	0,91	0,87	0,95
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1981,88	2017,15	1684,36	1872,67	1809,55
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	881,58	897,27	749,24	833,00	804,92
aa	Flow	3,8	4	4,4	4	4,1
ab	Marshall Quotient	231,99	224,32	170,28	208,25	196,32

Tabel 5.2 Lanjutan Perhitungan Test Marshall 24 Jam Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam 60°C

Kadar Aspal		5%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,14	10,18	10,14	10,16	10,14
b	Tinggi 1 (cm)	6,54	6,49	6,49	6,42	6,57
c	Tinggi 2 (cm)	6,42	6,57	6,41	6,49	6,49
d	Tinggi 3 (cm)	6,425	6,6	6,5	6,54	6,49
e	Tinggi 4 (cm)	6,52	6,54	6,485	6,42	6,41
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,7625	65,5	64,7125	64,675	64,9
g	% aspal thd agregat	5,263	5,263	5,263	5,263	5,263
h	% aspal thd campuran	5	5	5	5	5
i	Berat sampel (gram)	1182,4	1185,4	1187,7	1195,5	1185,7
j	Berat SSD (gram)	1193,9	1198	1200,6	1210,1	1200,5
k	Berat dalam air (gram)	689,9	686,4	688,4	697,5	690,5
l	Isi (gram)	504	511,6	512,2	512,6	510
m	Berat isi	2,346	2,317	2,319	2,332	2,325
n	BJ maksimum teoritis	2,477	2,477	2,477	2,477	2,477
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	11,444	11,303	11,311	11,377	11,341
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	83,247	82,219	82,282	82,758	82,498
q	Jumlah kandungan rongga (%)	5,309	6,479	6,407	5,866	6,161
r	% rongga thd agregat VMA	16,753	17,781	17,718	17,242	17,502
s	% rongga terisi aspal VFA	68,312	63,565	63,840	65,981	64,797
t	% rongga dlm campuran VIM	5,291	6,462	6,390	5,849	6,144
u	Pembacaan arloji stabilitas	61	56	55	60	60
v	lbf	1793,4	1646,4	1617	1764	1764
w	kg	797,74	732,35	719,27	784,66	784,66
x	koreksi (tebal)	0,97	0,95	0,97	0,97	0,97
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1737,76	1563,36	1568,94	1713,30	1702,92
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	772,99	695,41	697,90	762,11	757,49
aa	Flow	5,7	5,2	5,7	4,9	5,5
ab	Marshall Quotient	135,61	133,73	122,44	155,53	137,73

Keterangan :

Kadar aspal = 5 %, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%

Nomor benda uji = 1,2,3,4 dan 5

a = Diameter

b = Tinggi 1 (cm)

c = Tinggi 2 (cm)

d = Tinggi 3 (cm)

e = Tinggi rata-rata (mm) = $\left(\frac{b+c+d}{3}\right) \times 100$

f = % aspal terhadap agregat = $\frac{\% \text{ Aspal}}{1200 - \% \text{ Aspal}} \times 100$

g = % aspal terhadap campuran

h = Berat sampel (gram)

i = Berat SSD (gram)

j = Berat dalam air (gram)

k = Isi (gram) = i - j

l = Berat isi = $\frac{h}{k}$

m = Berat jenis maksimum teoritis = $\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregat}}{\text{BJ agregat}}\right) + \left(\frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}\right)}$

n = $\frac{g \times l}{\text{BJ Aspal}}$

o = $\frac{(100-g) \times l}{\text{Bj Agregat}}$

p = Jumlah kandungan rongga (%) = 100 - n - o

q = % rongga terhadap agregat VMA = 100 - o

r = % rongga terisi aspal VFA = $\frac{100 \times n}{q}$

s = % rongga dalam campuran VIM = $100 - \left(100 \times \frac{l}{m}\right)$

t = Pembacaan arloji stabilitas

$$\begin{aligned}
u &= \text{lbf} = t \times 29,4 = 1764 \\
v &= \text{Kg} = u \times 0,44482 = 784,66 \\
w &= \text{Koreksi tebal} = (2,74218538746593\text{E-}09 \times e^6) + (-8,26060400679033\text{E} \\
&\quad 07 \times e^5) + (0,000101549766056 \times e^4) + (0,00656569417186625 \times e^3) + (02401 \\
&\quad 07718496406 \times e^2) + (-4,9344246498271 \times e) + 49,2797714260504 \\
x &= \text{Stabilitas lbf (dg koreksi)} = u \times w \\
y &= \text{Stabilitas Kg (dg koreksi)} = v \times w \\
z &= \text{Flow (mm)} \\
aa &= \text{Marshall Quotient} = \frac{Y}{Z} (\text{Kg/mm})
\end{aligned}$$

5.1.2 Perhitungan Interval Kepercayaan Mencari Kadar Aspal Optimum

(KAO)

Interval kepercayaan dibuat untuk mencari data-data yang nilainya lebih akurat dan membuang data-data yang nilainya dianggap terlalu jauh perbedaannya antar benda uji. Pada penelitian ini digunakan derajat kepercayaan 95 % ($\gamma = 0,95$). Derajat kepercayaan ini digunakan untuk menentukan nilai-nilai yang berada didalam interval kepercayaan.

1. Data stabilitas kadar aspal 5 %

Tabel 5.3. Nilai untuk mencari simpangan baku

No benda Uji	Xi	Xi - X	(Xi - X) ²
1	881,579	48,377	2340,324714
2	897,270	64,069	4104,80264
3	749,236	-83,966	7050,226208
4	833,000	-0,202	0,040778041
5	804,924	-28,278	799,6495553
Σ	4166,008		14295,0439

$$\text{Rata-rata nilai Stabilitas} = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{4166,008}{5} = 833,20 \text{ Kg}$$

$$N \text{ (jumlah data)} = 5$$

$$\text{Varian : } S^2 = \frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1} = \frac{14295,043}{5-1} = 3573,761 \text{ Kg}$$

$$\text{Simpangan Baku : } S = \sqrt{3573,761} = 59,7809$$

$$\text{Derajat kepercayaan : } \gamma = 0,95$$

$$\text{Probabilitas : } p = \frac{1}{2} (1+0,95) = 0,975$$

$$\text{Derajat kebebasan : } dk = n - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{Untuk } p = 0,975 \text{ dan untuk } dk = 4 \text{ dan } t_{0,975} = 2,776$$

Interval data kepercayaan data stabilitas :

$$x - \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \leq \mu \leq + \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

$$833,20 - \left(2,776 \times \frac{59,780}{\sqrt{5}} \right) \leq \mu \leq 833,20 + \left(2,776 \times \frac{59,780}{\sqrt{5}} \right)$$

$$= 758,986, < \mu < 907,418$$

Didapatkan 95% interval kepercayaan adalah $758,986 < \mu < 908,418$. Jadi dapat dikatakan 95% yakin (percaya) bahwa data yang dimiliki dalam interval dengan batas $758,986 < \mu < 907,418$. Selanjutnya dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 5.4. Interval Kepercayaan Data Stabilitas

Kadar Aspal	x	s	p	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
5%	833,20164	59,7809	0,975	4	2,776	758,99	907,42
5,50%	912,09628	34,0297	0,975	4	2,776	869,85	954,34
6%	972,10361	24,0706	0,975	4	2,776	942,22	1001,99
6,50%	921,2642	21,5387	0,975	4	2,776	894,52	948,00
7%	843,57044	79,8891	0,975	4	2,776	744,39	942,75

Tabel 5.4.1 Validasi Data Stabilitas

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas hasil test Marshall					Rata-rata data Stabilitas (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	758,986	907,418	881,58	897,27	749,24	833,00	804,92	854,193
5,5%	869,850	954,343	939,54	887,74	945,49	866,43	921,29	923,514
6%	942,221	1001,986	989,14	930,56	986,97	972,83	981,03	982,491
6,5%	894,525	948,004	934,27	929,63	892,12	944,35	905,96	928,550
7%	744,391	942,750	881,76	930,73	754,75	888,23	762,39	843,570

Tabel 5.5. Interval Kepercayaan Data Flow

Kadar Aspal %	x	s	p	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
5%	4,1	0,78421936	0,975	4	2,776	3,13	5,07
5,5%	3,82	0,7293833	0,975	4	2,776	2,91	4,73
6%	3,44	0,29664794	0,975	4	2,776	3,07	3,81
6,5%	3,78	0,19235384	0,975	4	2,776	3,54	4,02
7%	3,88	0,76615925	0,975	4	2,776	2,93	4,83

Tabel 5.5.1 Validasi Data Flow

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data FLOW hasil test Marshall					Rata-rata data Flow (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	3,126	5,074	3,300	5,100	4,400	3,300	4,400	3,850
5,5%	2,914	4,726	4,400	4,800	3,200	3,400	3,300	3,575
6%	3,072	3,808	3,100	3,500	3,300	3,900	3,400	3,325
6,5%	3,541	4,019	3,500	3,900	3,700	4,000	3,800	3,850
7%	2,929	4,831	3,400	4,600	3,500	4,800	3,100	3,880

Tabel 5.6. Interval Kepercayaan Data VIM

Kadar Aspal %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
5%	6,703606698	0,76879995	0,975	4	2,776	5,75	7,66
5,5%	6,37774366	1,15743079	0,975	4	2,776	4,94	7,81
6%	5,261520196	1,27338438	0,975	4	2,776	3,68	6,84
6,50%	4,514176649	0,72577404	0,975	4	2,776	3,61	5,42
7%	4,357102516	0,5263049	0,975	4	2,776	3,70	5,01

Tabel 5.6.1 Validasi Data VIM

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VIM hasil test Marshall					Rata-rata data VIM setelah di validasi (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	5,749	7,658	7,339	6,377	6,154	7,697	5,952	6,455
5,5%	4,941	7,815	4,874	6,084	8,080	6,659	6,191	6,311
6%	3,681	6,842	5,405	3,155	6,609	5,670	5,468	5,159
6,5%	3,613	5,415	4,031	3,936	4,806	4,139	5,660	4,228
7%	3,704	5,010	4,746	4,888	4,253	4,357	3,542	4,561

Tabel 5.7 Interval Kepercayaan Data VMA

Kadar Aspal	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
5%	17,994011	0,67576	0,975	4	2,776	17,16	18,83
5,50%	18,746546	1,00452	0,975	4	2,776	17,50	19,99
6%	18,813693	1,09123	0,975	4	2,776	17,46	20,17
6,50%	19,202101	0,61413	0,975	4	2,776	18,44	19,96
7%	20,084803	0,43976	0,975	4	2,776	19,54	20,63

Tabel 5.7.1 Validasi Data VMA

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VMA hasil test Marshall					Rata-rata data VMA (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	17,155	18,833	18,553	17,707	17,511	18,867	17,333	17,776
5,5%	17,499	19,994	17,442	18,491	20,224	18,991	18,585	18,689
6%	17,459	20,168	18,937	17,008	19,969	19,164	18,991	19,265
6,5%	18,440	19,965	18,793	18,713	19,449	18,884	20,172	18,960
7%	19,539	20,631	20,409	20,528	19,998	20,085	19,404	20,255

Tabel 5.8 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient

Kadar Aspal	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
5%	206,233	24,421	0,975	4	2,776	175,92	236,55
5,5%	245,590	45,844	0,975	4	2,776	188,68	302,50
6%	266,593	28,145	0,975	4	2,776	231,65	301,53
6,5%	229,351	9,626	0,975	4	2,776	217,40	241,30
7%	221,659	30,656	0,975	4	2,776	183,60	259,72

Tabel 5.8.1 Validasi Data Marshall Quotient

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data MQ hasil test Marshall					Rata-rata data MQ (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	175,92	236,55	231,99	224,32	170,28	208,25	196,32	215,221
5,5%	188,68	302,50	213,53	184,94	295,46	254,83	279,18	260,752
6%	231,65	301,53	230,03	265,87	299,08	249,44	288,54	275,734
6,5%	217,40	241,30	233,57	238,37	223,03	236,09	215,70	232,763
7%	183,60	259,72	259,34	202,33	215,64	185,05	245,93	221,659

Tabel 5.9 Interval Kepercayaan Data VFA

Kadar Aspal %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
5%	62,73610285	2,83779218	0,975	4	2,776	59,21	66,26
5,5%	66,07403748	4,31739935	0,975	4	2,776	60,71	71,43
6%	72,19592473	5,4334084	0,975	4	2,776	65,45	78,94
6,5%	76,47961625	2,95598518	0,975	4	2,776	72,81	80,15
7%	78,26202183	2,17227451	0,975	4	2,776	75,57	80,96

Tabel 5.9.1 Validasi Data VFA

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas hasil test Marshall					Rata-rata data VIM (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	59,213	66,259	60,351	63,890	64,760	59,117	65,564	63,641
5,5%	60,714	71,434	71,955	67,009	59,965	64,846	66,595	66,150
6%	65,451	78,941	71,367	81,351	66,819	70,325	71,118	69,907
6,5%	72,810	80,149	78,462	78,878	75,205	77,994	71,859	77,635
7%	75,565	80,959	76,667	76,109	78,651	78,224	81,659	77,413

Tabel 5.10. Interval Kepercayaan Stabilitas 24 Jam

Kadar Aspal	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
5%	737,18	37,43	0,975	4	2,776	690,71	783,65
5,5%	874,56	37,80	0,975	4	2,776	827,64	921,48
6%	999,78	63,72	0,975	4	2,776	920,68	1078,89
6,5%	822,61	66,61	0,975	4	2,776	739,91	905,30
7%	714,93	49,84	0,975	4	2,776	653,06	776,80

Tabel 5.10.1 Validasi Data Stabilitas 24 Jam

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas 24 Jam hasil test Marshall					Rata-rata data Stabilitas 24 Jam (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
5%	690,71	783,65	772,99	695,41	697,90	762,11	757,49	737,182
5,5%	827,64	921,48	852,74	919,00	836,35	911,35	853,35	874,558
6%	920,68	1078,89	930,40	969,96	914,01	1018,12	929,82	957,977
6,5%	843,04	896,91	786,29	724,75	854,35	891,12	856,53	847,322
7%	653,06	776,80	759,55	748,04	724,75	709,35	632,96	735,421

Ket : Data diluar batas Interval Kepercayaan disortir

Tabel 5.11 Rata-rata Hasil Perhitungan Test Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validasi Data

Nilai Karakteristik	Kadar aspal					Syarat Spesifikasi
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
Stabilitas (Kg)	854,19	923,51	982,49	928,55	843,57	Min. 800 (Kg)
Flow (mm)	3,850	3,575	3,325	3,850	3,880	Min. 2 (mm)
VIM (%)	6,455	6,311	5,159	4,228	4,561	Min. 2,5 (%)
VMA (%)	17,776	18,689	19,265	18,960	20,255	Min.15 (%)
Marshall Quotient (Kg/mm)	215,221	260,752	275,734	232,763	221,659	Min. 200 (Kg/mm)
VFA (%)	63,641	66,150	69,907	77,635	77,413	Min. 65 (%)

5.1.3 Perhitungan Indeks Perendaman Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Uji Indeks Perendaman (Marshall Imersion Test) dimaksudkan untuk mengantur tingkat durabilitas campuran (merupakan indikator dari tingkat ketahanan campuran) terhadap pengaruh cuaca. Ukuran ini dinyatakan dalam nilai stabilitas sisa yang didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Indeks Perendaman} = \frac{\text{Stabilitas pada rendaman 24 Jam, suhu } 60^{\circ}\text{C}}{\text{Stabilitas pada rendaman 30 menit, suhu } 60^{\circ}\text{C}} \times 100 \%$$

Tabel 5.12 Data Hasil Indeks Perendaman

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (30 menit)	Stabilitas (24) Jam	Indeks Perendaman (%)	Syarat
5	854,193	737,182	86,302	85%
5,5	923,514	874,558	94,699	
6	982,491	957,977	97,505	
6,5	928,550	847,322	91,252	
7	843,570	735,421	87,180	

5.1.4 Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

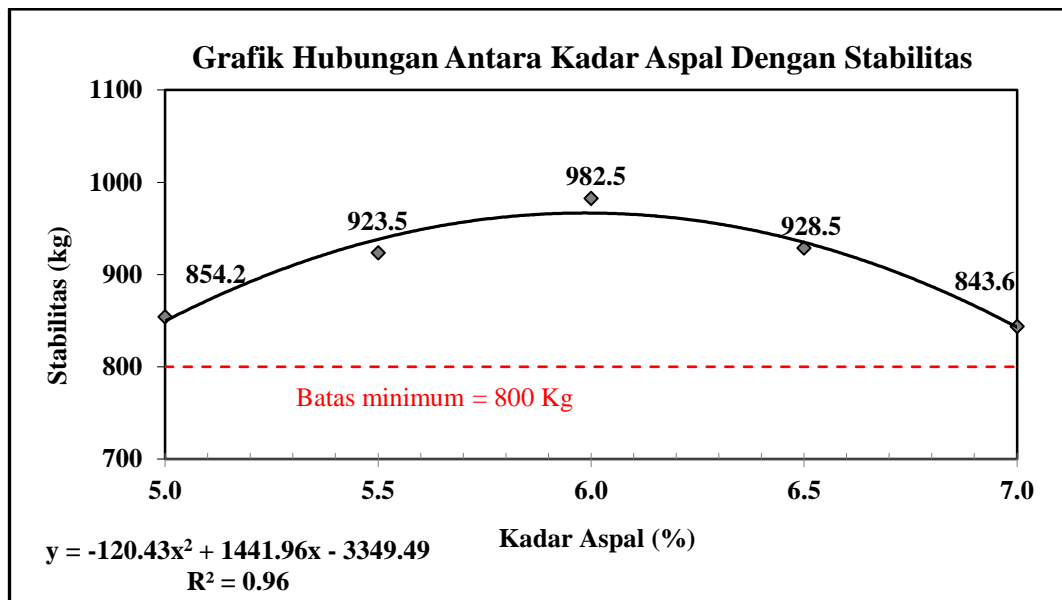
A. Perhitungan Menggunakan Program Microsoft Excel XP

Berdasarkan tabel 5.10 dan 5.11 dapat diplotkan dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara lain :

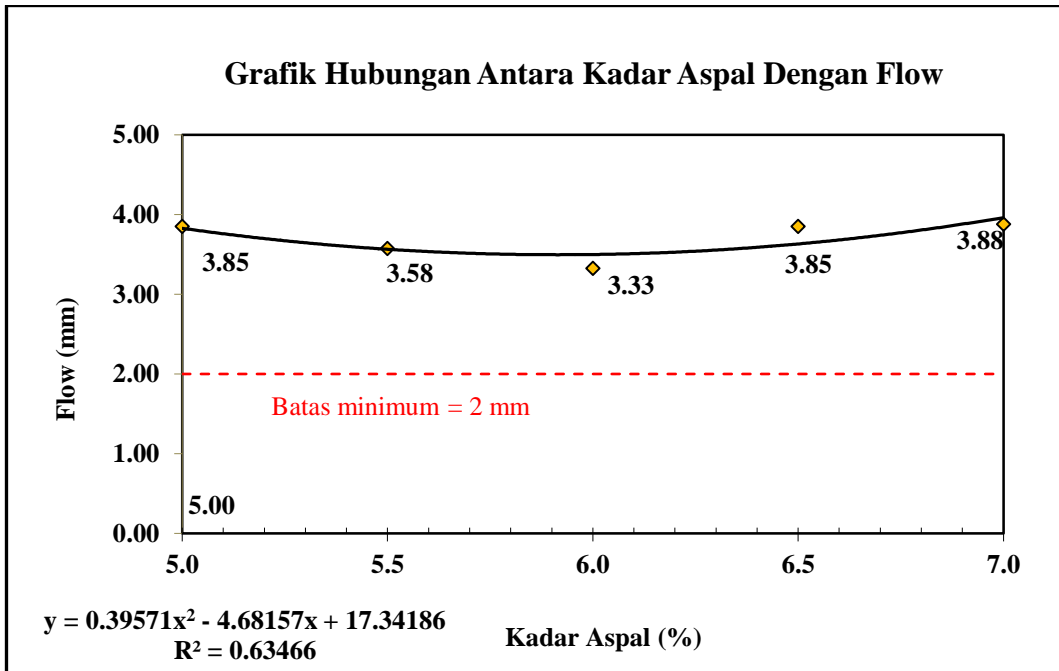
- a. Antara Kadar aspal dengan Stabilitas
- b. Antara Kadar aspal dengan Flow
- c. Antara Kadar aspal dengan VIM

- e. Antara Kadar aspal dengan VMA
- f. Antara Kadar aspal dengan Marshall Quotient
- g. Antara Kadar aspal dengan VFA
- h. Antara Kadar aspal dengan Indeks Perendaman

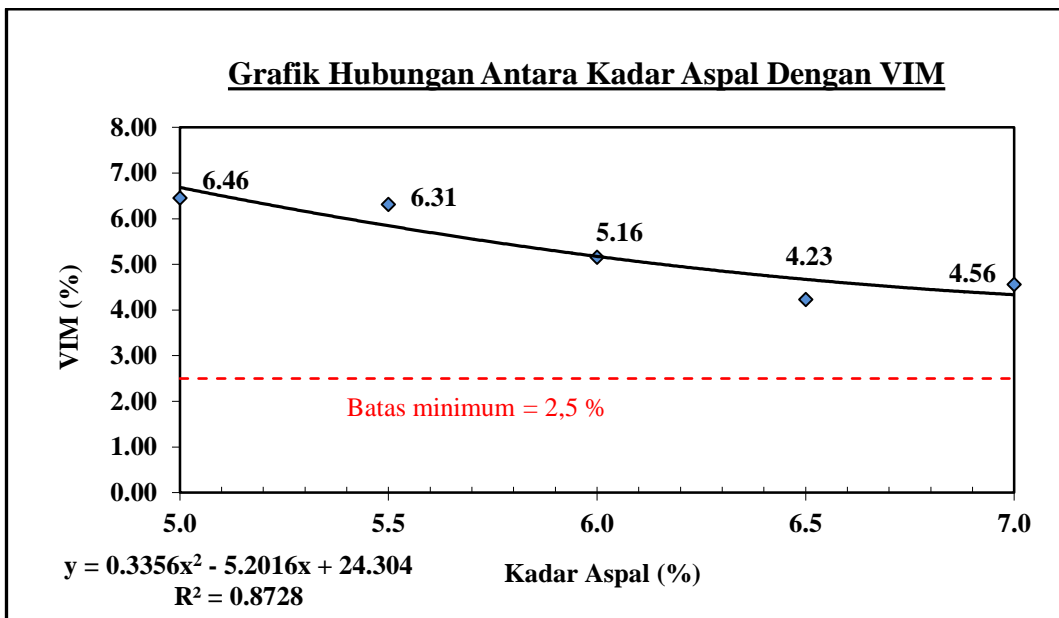
Perhitungan mencari kadar aspal optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter Marshall yang digambarkan dalam grafik dibawah ini :



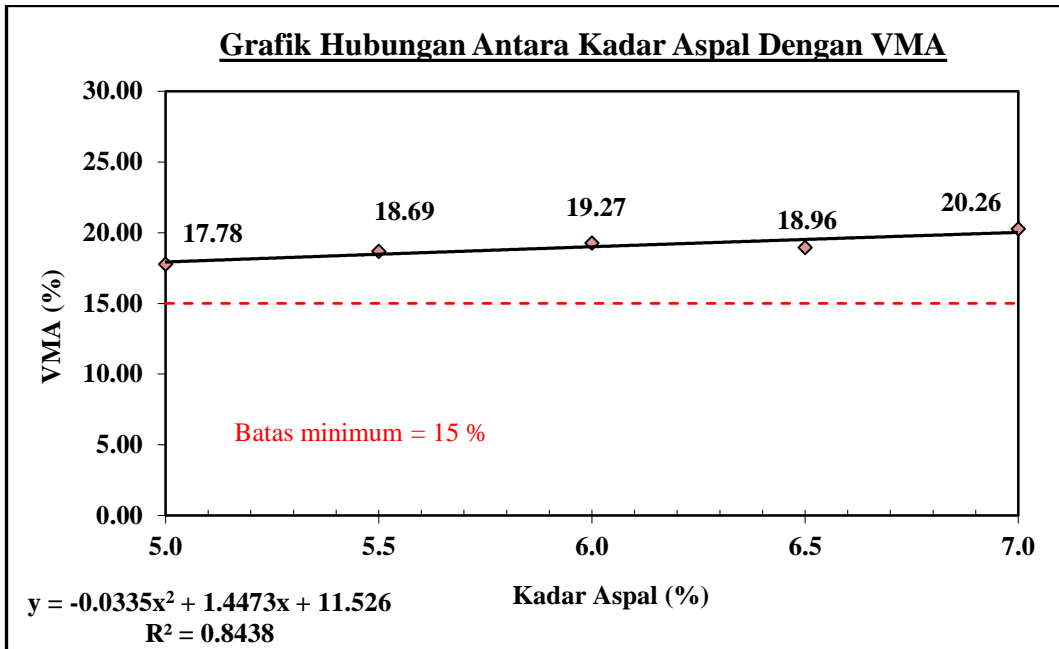
Grafik 5.1 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas



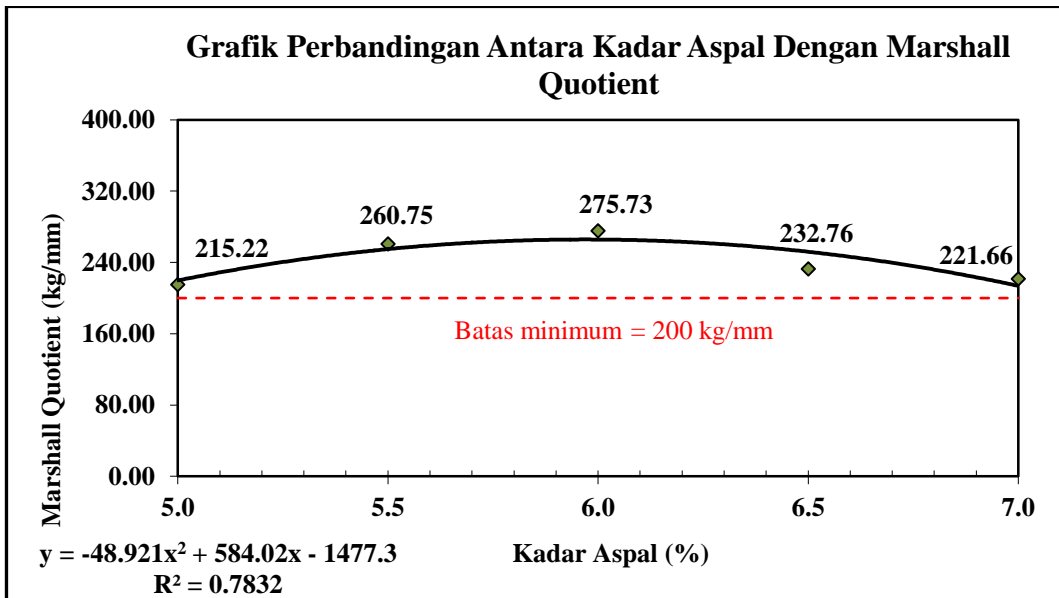
Grafik 5.2 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan Flow



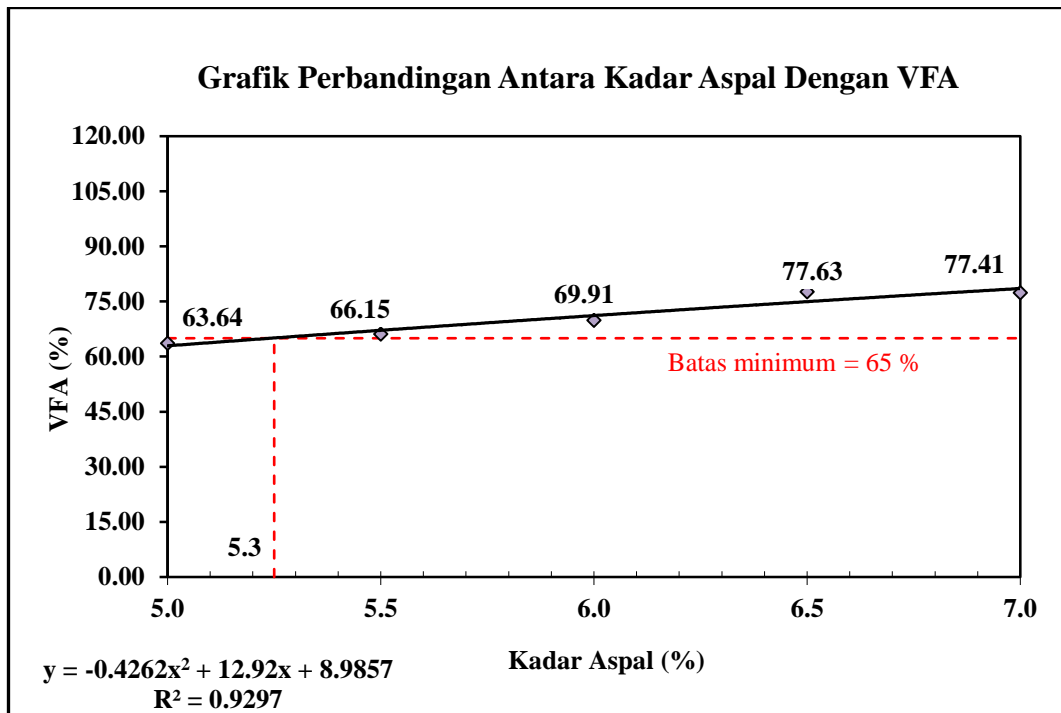
Grafik 5.3 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM



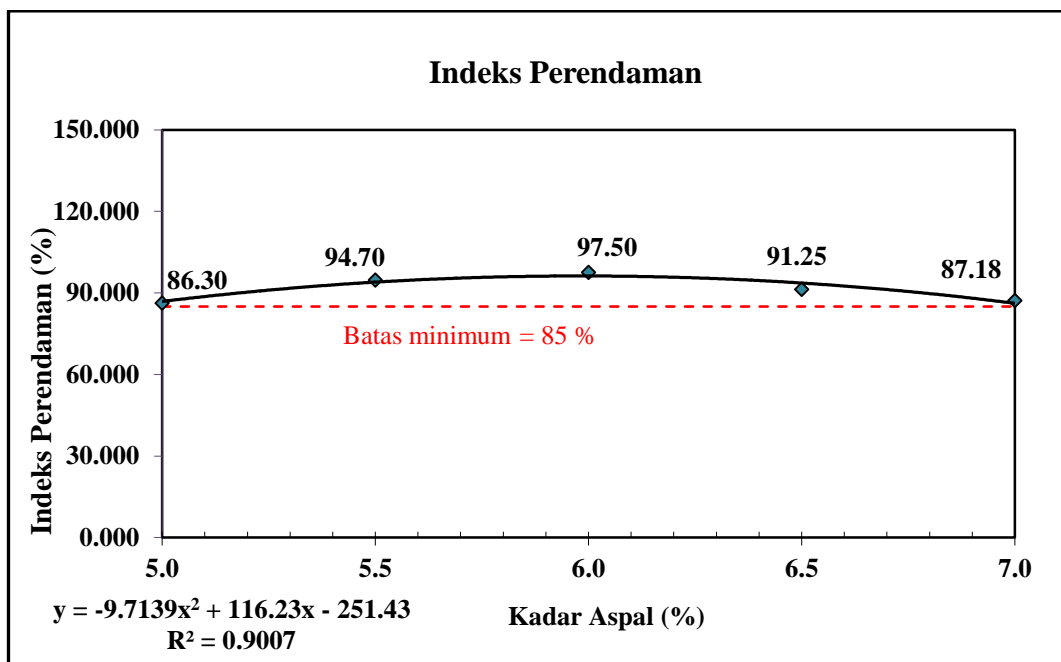
Grafik 5.4 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA



Grafik 5.5 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan MQ

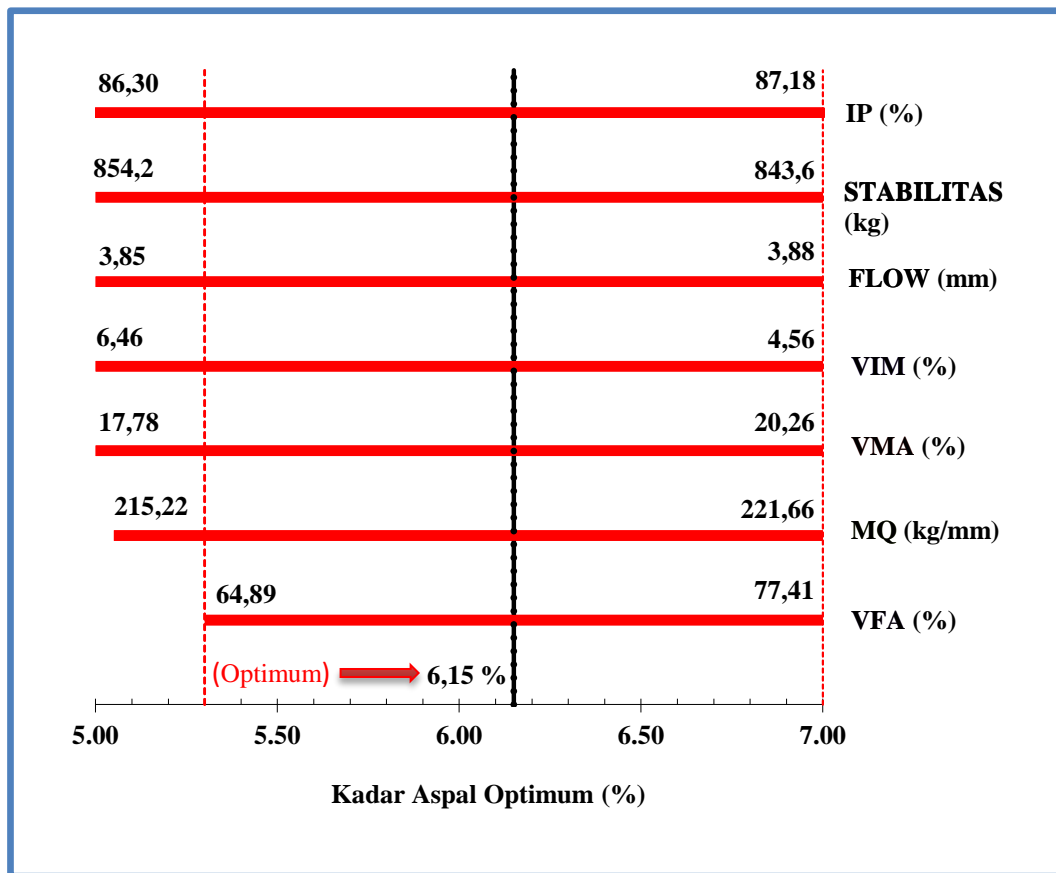


Grafik 5.6 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan VFA



Grafik 5.7 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Aspal Dengan IP

Berdasarkan grafik diatas diperoleh Kadar Aspal Optimum sebagai berikut :



Grafik 5.8 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan grafik 5.8 diagram batang kadar aspal optimum menggunakan Abu Batu tidak semua kadar memenuhi persyaratan maka untuk mencari kadar aspal optimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan VFA (*volume of voids filled with asphalt*) yaitu :

$$x = \frac{5,30 + 7}{2}$$

$$x = 6,15 \% \text{ (Nilai } x \text{ positif karena rentang } x \text{ 5 -7)}$$

Titik puncak Stabilitas pada kadar aspal optimum

$$y = -120,43x^2 + 1441,96x - 3349,49$$

$$y = \{ -120,43 \times (6,15^2) \} + \{ 1441,63 \times 6,15 \} - 3349,49$$

$$y = 983,87 \text{ Kg}$$

Jadi nilai Stabilitas optimum menggunakan filler abu batu kadar aspal optimum 6,15 % adalah 983,87 Kg

B. Perhitungan Dengan Menggunakan Metode Regresi

Perhitungan ini digunakan sebagai pembanding dari persamaan dan koefisien determinasi (R^2) yang didapat dari program Microsoft Excel XP.

Perhitungan yang digunakan adalah Analisa Regresi

Pada penelitian ini untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kuat tekan (stabilitas) campuran aspal beton digunakan metode fungsi kuadrat (Sudjono,1996;338), dengan regresi bentuk persamaan

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungannya sebagai berikut :

$$\sum Y = na + b\sum X + c\sum X^2$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 + c\sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4$$

Analisis regresi data Stabilitas :

Tabel 5.13 Perhitungan Metode Regresi

No	x	y	y ²	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	5	854,193	729645,8	25	125	625	4270,965	21354,83
2	5,5	923,5141	852878,2	30,25	166,375	915,0625	5079,327	27936,3
3	6	982,4907	965288	36	216	1296	5894,944	35369,67
4	6,5	928,5498	862204,8	42,25	274,625	1785,0625	6035,574	39231,23
5	7	843,5704	711611,1	49	343	2401	5904,993	41334,95
Total	30	4532,318	4121628	182,5	1125	7022,125	27185,8	165227

Dari tabel 5.13 maka didapat persamaan :

$$4532,318 = 5a + 30b + 182,5c$$

$$27185,8 = 30a + 182,5b + 1125c$$

$$165227 = 182,5a + 1125b + 7022,125c$$

Dari persamaanya didapat :

$$a = -120,43$$

$$b = 1441,96$$

$$c = 3349,49$$

Maka persamaanya adalah :

$$\hat{Y} = -120,43 + 1441,96 + 3349,49$$

Mencari koefisien determinasi (R²) :

$$JK(b | a) = (b - \{\frac{\sum XY}{n}\}) + (c - \{\frac{\sum X^2 Y}{n}\})$$

$$= (1441,96 \{27185,8 - \frac{30 \times 4532,318}{5}\})$$

$$+ (3349,49 \{1441,96 - \frac{182,5 \times 4532,318}{5}\})$$

$$= 6421895$$

$$JK (E) = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$= 4121628^2 - \frac{(4121628)^2}{5}$$

$$= 662051,30$$

$$R^2 = \frac{JK(b|a)}{JK(E)}$$

$$= \frac{6421895}{662051,30}$$

$$= 0,97$$

Berdasarkan kedua cara hasil persamaan dan koefisien determinasi mendapatkan hasil yang hampir sama. Perbandingan ini dapat kita lihat dalam tabel dibawah ini :

Tabel 5.14 Daftar Nilai Yang Perlu Untuk Menentukan Regresi

Nilai Karakteristik	Program Microsoft Excel XP	Metode Statistik
Stabilitas (Kg)	$y = -120,43x^2 + 1441,96x - 3349,49$ $R^2 = 0,96$	$y = -120,44x^2 + 1441,97x - 3349,49$ $R^2 = 0,97$
Flow (mm)	$y = 0,39571x^2 - 4,618157x + 17,34186$ $R^2 = 0,634$	$y = 0,39573x^2 - 4,61816x + 17,34186$ $R^2 = 0,635$
VIM(%)	$y = 0,3356x^2 - 5,2016x + 24,304$ $R^2 = 0,872$	$y = 0,3356x^2 - 5,2015x + 24,31$ $R^2 = 0,873$
VMA(%)	$y = -0,0335x^2 + 1,4473x + 11,526$ $R^2 = 0,843$	$y = -0,0335x^2 + 1,4474x + 11,526$ $R^2 = 0,844$
MQ (%)	$y = -48,921x^2 + 584,02x - 1477,3$ $R^2 = 0,7832$	$y = -48,924x^2 + 584,03x - 1447,2$ $R^2 = 0,894$
VFA (Kg/mm)	$y = -0,4262x^2 + 12,92x - 8,9857$ $R^2 = 0,929$	$y = -0,4262x^2 + 12,92x - 8,986$ $R^2 = 0,930$
Indeks Perendaman (%)	$y = -9,7139x^2 + 116,23x - 251,43$ $R^2 = 0,9007$	$y = -9,7138x^2 + 116,24x - 252,42$ $R^2 = 0,900$

5.2 Perhitungan Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)

Menggunakan Serbuk Ban

5.2.1 Data Hasil Test Marshall

Data pengujian Marshall kemudian dihitung menggunakan software

Microsoft Excel XP dan hasilnya didapatkan sebagai berikut :

Tabel 5.15 Perhitungan Test Marshall 30 Menit Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)

Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit 60°C

Kadar Aspal		6%				
Kadar Serbuk Ban		0%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,16	10,23	10,12	10,12	10,28
b	Tinggi 1 (cm)	6,4	6,5	6,63	6,63	6,55
c	Tinggi 2 (cm)	6,29	6,65	6,57	6,73	6,56
d	Tinggi 3 (cm)	6,28	6,65	6,52	6,64	6,54
f	Tinggi rata-rata (mm)	63,233	66,000	65,733	66,667	65,500
g	% aspal thd agregat	6,383	6,383	6,383	6,383	6,383
h	% aspal thd campuran	6	6	6	6	6
i	Berat sampel (gram)	1150	1141,2	1200,1	1222,3	1185
j	Berat SSD (gram)	1159,2	1151,5	1210,7	1230,7	1194,5
k	Berat dalam air (gram)	661,1	668,7	684,2	699,8	680,9
l	Isi (gram)	498,1	482,8	526,5	530,9	513,6
m	Berat isi	2,309	2,364	2,279	2,302	2,307
n	BJ maksimum teoritis	2,441	2,441	2,441	2,441	2,441
o	(g*1)/bj aspal	13,515	13,836	13,343	13,477	13,506
p	((100-g)*1)/bj agregat	81,063	82,992	80,031	80,836	81,009
q	Jumlah kandungan rongga (%)	5,422	3,172	6,626	5,687	5,485
r	% rongga thd agregat VMA	18,937	17,008	19,969	19,164	18,991
s	% rongga terisi aspal VFA	71,367	81,351	66,819	70,325	71,118
t	% rongga dlm campuran VIM	5,405	3,155	6,609	5,670	5,468
u	Pembacaan arloji stabilitas	75	76	80	81	79
v	lbf	2205	2234,4	2352	2381,4	2322,6
w	kg	980,83	993,91	1046,22	1059,29	1033,14
x	koreksi (tebal)	1,01	0,94	0,94	0,92	0,95
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2223,68	2091,98	2218,80	2187,01	2205,46
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	989,14	930,56	986,97	972,83	981,03
aa	Flow	3,1	3,5	3,3	3,9	3,4
ab	Marshall Quotient	319,08	265,87	299,08	249,44	288,54

Tabel 5.16 Perhitungan Test Marshall 24 Jam Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)

Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam 60°C

Kadar Aspal Tengah P		6%				
Kadar Serbuk Ban		0%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,16	10,23	10,12	10,12	10,28
b	Tinggi 1 (cm)	6,43	6,6	6,63	6,62	6,75
c	Tinggi 2 (cm)	6,26	6,66	6,47	6,83	6,86
d	Tinggi 3 (cm)	6,27	6,6	6,57	6,74	6,54
e	Tinggi rata-rata (mm)	63,20	66,20	65,57	67,30	67,17
f	% aspal thd agregat	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
g	% aspal thd campuran	6	6	6	6	6
h	Berat sampel (gram)	1152	1150,2	1190,1	1162,3	1185
i	Berat SSD (gram)	1181,2	1178,5	1170,7	1185,7	1194,5
j	Berat dalam air (gram)	664,1	655,7	657,2	681,8	670,9
k	Isi (gram)	517,1	522,8	513,5	503,9	523,6
l	Berat isi	2,228	2,200	2,318	2,307	2,263
m	BJ maksimum teoritis	2,441	2,441	2,441	2,441	2,441
n	(g*1)/bj aspal	13,041	12,878	13,567	13,502	13,248
o	((100-g)*1)/bj agregat	78,220	77,246	81,374	80,987	79,462
p	Jumlah kandungan rongga (%)	8,739	9,875	5,060	5,511	7,290
q	% rongga thd agregat VMA	21,780	22,754	18,626	19,013	20,538
r	% rongga terisi aspal VFA	59,876	56,600	72,836	71,015	64,504
s	% rongga dlm campuran VIM	8,723	9,859	5,043	5,494	7,274
t	Pembacaan arloji stabilitas	70	75	70	76	72
u	lbf	2058	2205	2058	2234,4	2116,8
v	kg	915,44	980,83	915,44	993,91	941,59
w	koreksi (tebal)	1,01	0,93	0,95	0,90	0,90
x	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2077,19	2052,66	1950,57	2013,82	1915,45
y	Stabilitas kg (dg koreksi)	923,97	913,06	867,65	895,79	852,03
z	Flow	4	4,5	4,2	3,6	4
aa	Marshall Quotient	230,99	202,90	206,58	248,83	213,01

Keterangan :

Kadar serbuk ban = 0 %, 10%, 20%, 30%, 40%

Nomor benda uji = 1,2,3,4 dan 5

a = Diameter

b = Tinggi 1 (cm)

c = Tinggi 2 (cm)

d = Tinggi 3 (cm)

e = Tinggi rata-rata (mm) = $\left(\frac{b+c+d}{3}\right) \times 100$

f = % aspal terhadap agregat = $\frac{\% \text{ Aspal}}{1200 - \% \text{ Aspal}} \times 100$

g = % aspal terhadap campuran

h = Berat sampel (gram)

i = Berat SSD (gram)

j = Berat dalam air (gram)

k = Isi (gram) = i - j

l = Berat isi = $\frac{h}{k}$

m = Berat jenis maksimum teoritis = $\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ agregat}}{\text{BJ agregat}}\right) + \left(\frac{\% \text{ aspal}}{\text{BJ aspal}}\right)}$

n = $\frac{g \times l}{\text{BJ Aspal}}$

o = $\frac{(100-g) \times l}{\text{Bj Agregat}}$

p = Jumlah kandungan rongga (%) = 100 - n - o

q = % rongga terhadap agregat VMA = 100 - o

r = % rongga terisi aspal VFA = $\frac{100 \times n}{q}$

s = % rongga dalam campuran VIM = $100 - \left(100 \times \frac{l}{m}\right)$

t = Pembacaan arloji stabilitas

- u = lbf = t × 29,4
- v = Kg = u × 0,44482
- w = Koreksi tebal = (2,74218538746593E-09×e^6)+(-8,26060400679033E07×e^5)+(0,000101549766056×e^4)+(0,00656569417186625×e^3)+(0240107718496406×e^2)+(-4,9344246498271×e)+49,2797714260504
- x = Stabilitas lbf (dg koreksi) = u × w
- y = Stabilitas Kg (dg koreksi) = v × w
- z = Flow (mm)
- aa = Marshall Quotient = $\frac{Y}{Z}$ (Kg/mm)

5.2.2 Perhitungan Interval Kepercayaan Mencari Kadar Serbuk Ban

Optimum (KSBO)

Interval kepercayaan dibuat untuk mencari data-data yang nilainya lenih akurat dan membuang data-data yang nilainya dianggap terlalu jauh perbedaanya antar benda uji. Pada penelitian ini digunakan derajat kepercayaan 95 % ($\gamma = 0,95$). Derajat kepercayaan ini digunakan untuk menentukan nilai-nilai yang berada didalam interval kepercayaan.

Data Stabilitas kadar Serbuk 0 %

Tabel 5.17 Nilai untuk mencari simpangan baku

No benda Uji	Xi	Xi - X	(Xi - X) ²
1	989,136	17,032	290,1045
2	930,555	-41,548	1726,276
3	986,969	14,865	220,9732
4	972,827	0,723	0,522988
5	981,031	8,928	79,70347
∑	4860,518		2317,58

$$\text{Rata-rata nilai Stabilitas} = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{4860,51}{5} = 972,10 \text{ Kg}$$

$$N \text{ (jumlah data)} = 5$$

$$\text{Varian : } S^2 = \frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1} = \frac{2317,58}{5-1} = 579,395 \text{ Kg}$$

$$\text{Simpangan Baku : } S = \sqrt{579,395} = 24,070$$

$$\text{Derajat kepercayaan : } \gamma = 0,95$$

$$\text{Probabilitas : } p = \frac{1}{2} (1+0,95) = 0,975$$

$$\text{Derajat kebebasan : } dk = n - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{Untuk } p = 0,975 \text{ dan untuk } dk = 4 \text{ dan } t_{0,975} = 2,776$$

Interval data kepercayaan data stabilitas :

$$\begin{aligned} \bar{x} - \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right) &\leq \mu \leq + \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \\ 972,10 - \left(2,776 \times \frac{24,070}{\sqrt{5}} \right) &\leq \mu \leq 972,10 + \left(2,776 \times \frac{24,070}{\sqrt{5}} \right) \\ &= 942,221 < \mu < 1001,986 \end{aligned}$$

Didapatkan 95% interval kepercayaan adalah $942,221 < \mu < 1001,986$. Jadi dapat dikatakan 95% yakin (percaya) bahwa data yang dimiliki dalam interval dengan batas $942,221 < \mu < 1001,986$ Selanjutnya dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 5.18 Interval Kepercayaan Data Stabilitas

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	999,952	45,475	0,975	4	2,776	943,50	1056,41
10%	983,953	78,091	0,975	4	2,776	887,01	1080,90
20%	1040,682	70,375	0,975	4	2,776	953,31	1128,05
30%	931,029	63,966	0,975	4	2,776	851,62	1010,44
40%	852,748	41,572	0,975	4	2,776	801,14	904,36

Tabel 5.18.1 Validasi Data Stabilitas

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas hasil test Marshall					Rata-rata data Stabilitas (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	943,497	1056,407	989,136	930,555	986,969	972,827	981,031	982,491
10%	887,005	1080,900	1028,785	1030,002	985,789	970,194	853,167	1003,693
20%	953,315	1128,050	1041,890	918,311	1036,317	1068,908	1117,631	1066,187
30%	851,618	1010,441	1018,042	962,759	833,308	1000,760	910,089	972,913
40%	801,138	904,357	930,215	940,148	819,311	935,725	958,814	941,225

Tabel 5.19 Interval Kepercayaan Data Flow

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	5,262	1,273	0,975	4	2,776	3,68	6,84
10%	5,533	0,854	0,975	4	2,776	4,47	6,59
20%	5,066	0,628	0,975	4	2,776	4,29	5,85
30%	4,763	0,619	0,975	4	2,776	4,00	5,53
40%	3,540	0,864	0,975	4	2,776	2,47	4,61

Tabel 5.19.1 Validasi Data Flow

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data Flow hasil test Marshall					Rata-rata data Flow (mm)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	3,072	3,808	3,100	3,500	3,300	3,900	3,400	3,325
10%	3,036	3,724	3,500	3,200	3,500	3,700	3,000	3,300
20%	3,016	3,424	3,100	3,000	3,300	3,300	3,400	3,200
30%	3,052	3,468	3,400	3,000	3,400	3,300	3,200	3,225
40%	3,187	4,093	3,400	3,500	3,800	3,300	3,000	3,425

Tabel 5.20 Interval Kepercayaan Data VIM

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	5,262	1,273	0,975	4	2,776	3,68	6,84
10%	5,533	0,854	0,975	4	2,776	4,47	6,59
20%	5,066	0,628	0,975	4	2,776	4,29	5,85
30%	4,763	0,619	0,975	4	2,776	4,00	5,53
40%	3,540	0,864	0,975	4	2,776	2,47	4,61

Tabel 5.20.1 Validasi Data VIM

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data VIM hasil test Marshall					Rata-rata data VIM (%)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	3,681	6,842	5,405	3,155	6,609	5,670	5,468	5,788
10%	4,473	6,594	5,321	5,611	4,803	6,956	4,976	5,178
20%	4,286	5,845	6,015	4,788	4,515	4,625	5,385	4,828
30%	3,995	5,531	4,093	5,345	5,495	4,436	4,446	4,931
40%	2,467	4,613	3,407	2,669	2,761	4,517	4,346	3,540

Tabel 5.21 Interval Kepercayaan Data VMA

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	18,81	1,09	0,975	4	2,776	17,46	20,17
10%	18,66	0,28	0,975	4	2,776	18,32	19,01
20%	18,60	0,54	0,975	4	2,776	17,93	19,27
30%	18,34	0,53	0,975	4	2,776	17,68	19,00
40%	17,29	0,74	0,975	4	2,776	16,37	18,21

Tabel 5.21.1 Validasi Data VMA

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data VMA hasil test Marshall					Rata-rata Data VMA (%)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	17,459	20,168	18,937	17,008	19,969	19,164	18,991	19,265
10%	18,318	19,009	18,821	19,069	18,377	20,223	18,525	18,986
20%	17,933	19,271	19,416	18,364	18,130	18,224	18,876	18,398
30%	17,684	19,001	17,768	18,842	18,970	18,062	18,071	18,343
40%	16,374	18,214	17,180	16,547	16,626	18,132	17,985	17,294

Tabel 5.22 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	284,402	27,388	0,975	4	2,776	250,40	318,40
10%	288,814	21,781	0,975	4	2,776	261,77	315,86
20%	321,772	11,866	0,975	4	2,776	307,04	336,50
30%	290,620	28,579	0,975	4	2,776	255,14	326,10
40%	272,194	37,395	0,975	4	2,776	225,77	318,62

Tabel 5.22.1 Validasi Data Marshall Quotient

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data MQ hasil test Marshall					Rata-rata Data MQ (Kg/mm)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	250,401	318,403	319,080	265,873	299,081	249,443	288,539	275,734
10%	261,774	315,855	293,939	321,876	281,654	262,215	284,389	295,464
20%	307,040	336,503	336,094	306,100	314,036	323,910	328,715	321,771
30%	255,140	326,099	299,424	320,920	245,091	303,261	284,403	302,002
40%	225,770	318,619	273,593	268,614	215,608	283,553	319,605	272,194

Tabel 5.23 Interval Kepercayaan Data VFA

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	72,196	5,433	0,975	4	2,776	65,45	78,94
10%	70,796	3,255	0,975	4	2,776	66,76	74,84
20%	72,637	2,539	0,975	4	2,776	69,49	75,79
30%	73,899	2,600	0,975	4	2,776	70,67	77,13
40%	79,462	4,096	0,975	4	2,776	74,38	84,55

Tabel 5.23.1 Validasi Data Stabilitas VFA

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data VFA hasil test Marshall					Rata-rata data VFA (%)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	65,451	78,941	71,367	81,351	66,819	70,325	71,118	69,907
10%	66,755	74,837	71,541	70,392	73,670	65,432	72,947	72,138
20%	69,485	75,789	68,839	73,734	74,901	74,427	71,285	73,587
30%	70,671	77,126	76,762	71,443	70,847	75,242	75,199	92,373
40%	74,377	84,548	79,959	83,652	83,174	74,890	75,637	79,462

Tabel 5.24 Interval Kepercayaan Data Stabilitas 24 Jam

Kadar Serbuk %	x	s	p	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
0%	890,501	30,247	0,975	4	2,776	852,95	928,05
10%	883,558	25,106	0,975	4	2,776	852,39	914,73
20%	964,899	42,854	0,975	4	2,776	911,70	1018,10
30%	858,959	32,897	0,975	4	2,776	818,12	899,80
40%	833,853	23,286	0,975	4	2,776	804,94	862,76

Tabel 5.24.1 Validasi Data Stabilitas 24 Jam

Kadar Aspal %	Interval Kepercayaan		Data Indeks Stabilitas 24 Jam hasil test Marshall					Rata-rata data Stabilitas 24 Jam (%)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
0%	852,95	928,05	923,974	913,063	867,650	895,785	852,031	900,118
10%	852,39	914,73	865,220	906,523	888,533	906,923	850,591	891,800
20%	911,70	1018,10	947,643	964,573	1013,785	903,594	994,897	980,225
30%	818,12	899,80	858,493	806,427	863,598	869,387	896,889	872,092
40%	804,94	862,76	830,460	824,544	852,192	801,720	860,347	841,886

Ket : Data diluar batas Interval Kepercayaan disortir

Tabel 5.25 Rata-rata Hasil Perhitungan Test Marshall Setelah Diadakan Koreksi Validasi Data

Nilai Karakteristik	Kadar Serbuk Ban					Syarat Spesifikasi
	0%	10%	20%	30%	40%	
Stabilitas (Kg)	982,491	1003,693	1066,187	972,913	866,876	Min. 800 (Kg)
Flow (mm)	3,325	3,750	4,200	3,575	4,675	Min. 2 (mm)
VIM (%)	5,788	5,178	4,828	4,931	3,540	Min. 2,5 (%)
VMA (%)	19,265	18,986	18,398	18,343	17,294	Min.15 (%)
Marshall Quotient (Kg/mm)	275,734	263,884	303,060	276,474	187,416	Min. 200 (Kg/mm)
VFA (%)	69,907	72,138	73,587	92,373	79,462	Min. 65 (%)

5.1.3 Perhitungan Indeks Perendaman Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum (KSBO)

Uji Indeks Perendaman (Marshall Imersion Test) dimaksudkan untuk mengantur tingkat durabilitas campuran (merupakan indikator dari tingkat ketahanan campuran) terhadap pengaruh cuaca. Ukuran ini dinyatakan dalam nilai stabilitas sisa yang didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Indeks Perendaman} = \frac{\text{Stabilitas pada rendaman 24 Jam, suhu } 60^{\circ}\text{C}}{\text{Stabilitas pada rendaman 30 menit, suhu } 60^{\circ}\text{C}} \times 100 \%$$

Tabel 5.26 Data Hasil Indeks Perendaman

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (30 menit)	Stabilitas (24) Jam	IP (%)	Syarat
5	982,4907293	900,1182205	91,61595052	85%
5,5	1003,692675	891,7996255	88,85186153	
6	1066,186558	980,2247573	91,93745224	
6,5	972,9126201	872,0916195	89,63719881	
7	941,2253137	841,8857539	89,44571949	

5.1.4 Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

A. Perhitungan Menggunakan Program Microsoft Excel XP

Berdasarkan tabel 5.10 dan 5.11 dapat diplotkan dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara lain :

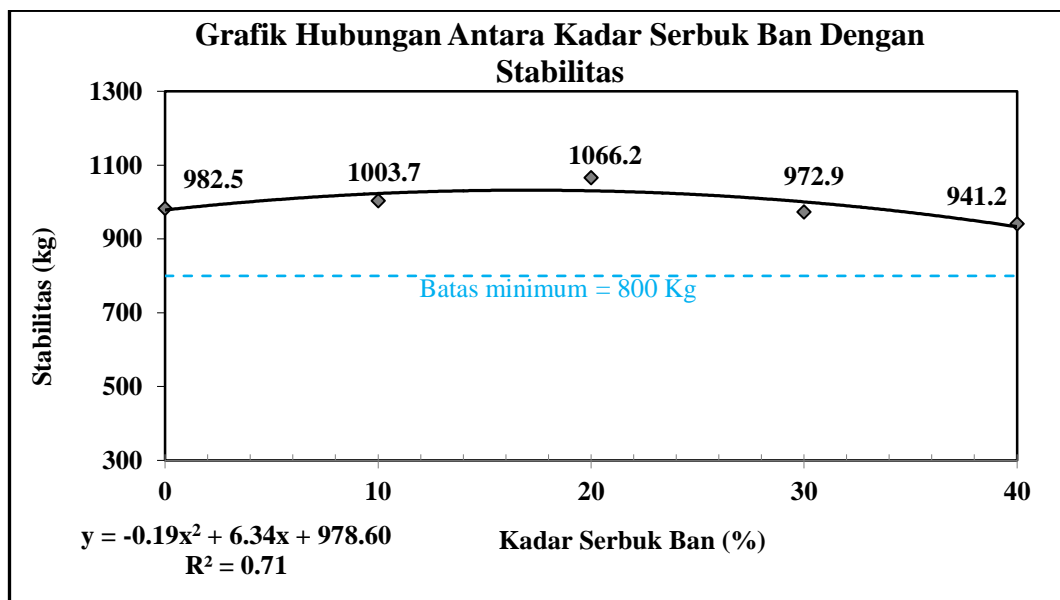
- a. Antara Kadar aspal dengan Stabilitas
- b. Antara Kadar aspal dengan Flow
- c. Antara Kadar aspal dengan VIM
- e. Antara Kadar aspal dengan VMA

f. Antara Kadar aspal dengan Marshall Quotient

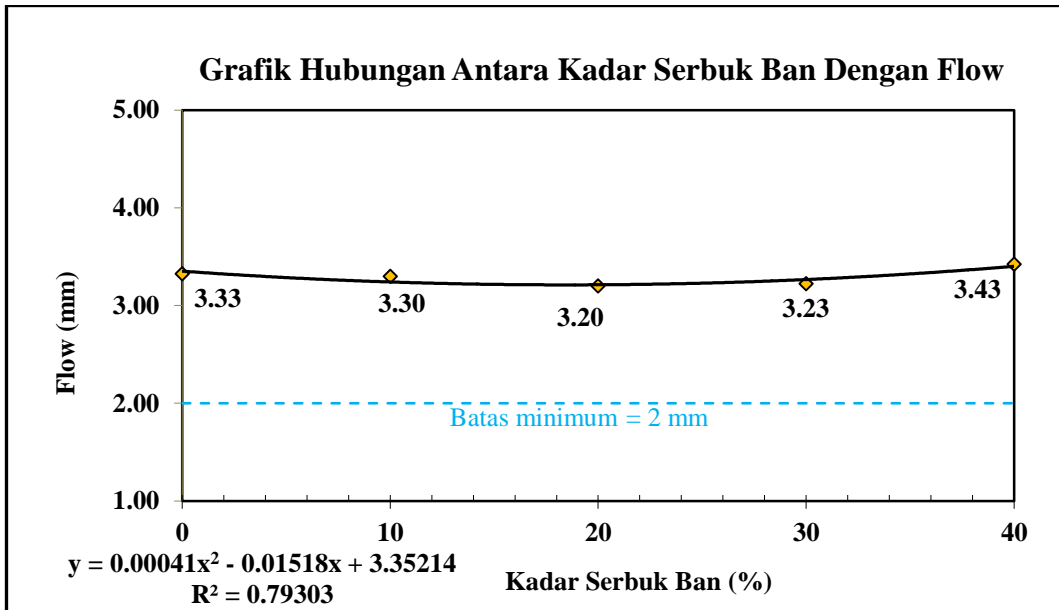
g. Antara Kadar aspal dengan VFA

h. Antara Kadar aspal dengan Indeks Perendaman

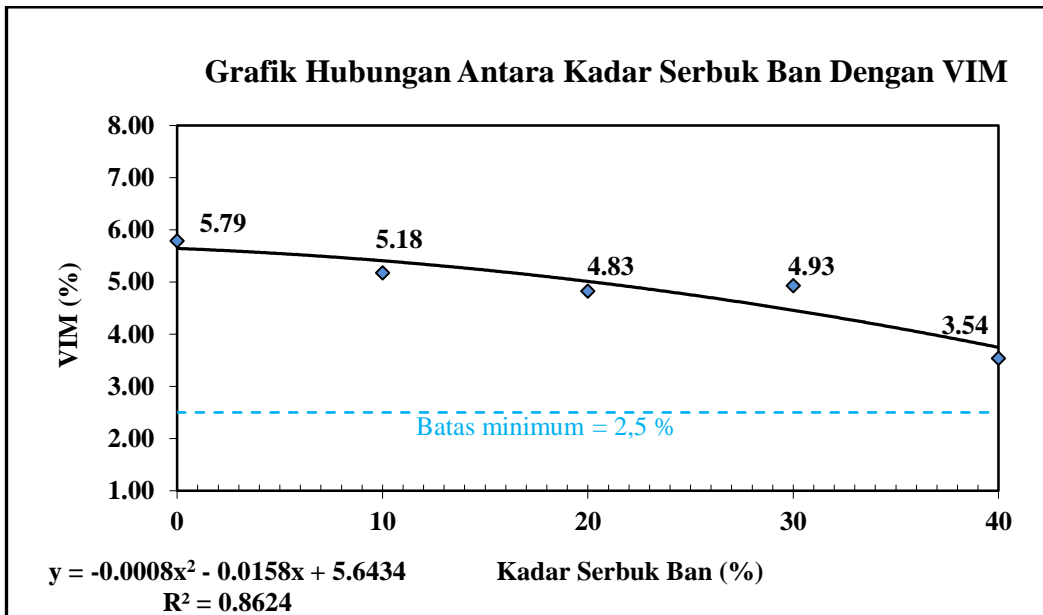
Perhitungan mencari kadar aspal optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter Marshall yang digambarkan dalam grafik dibawah ini :



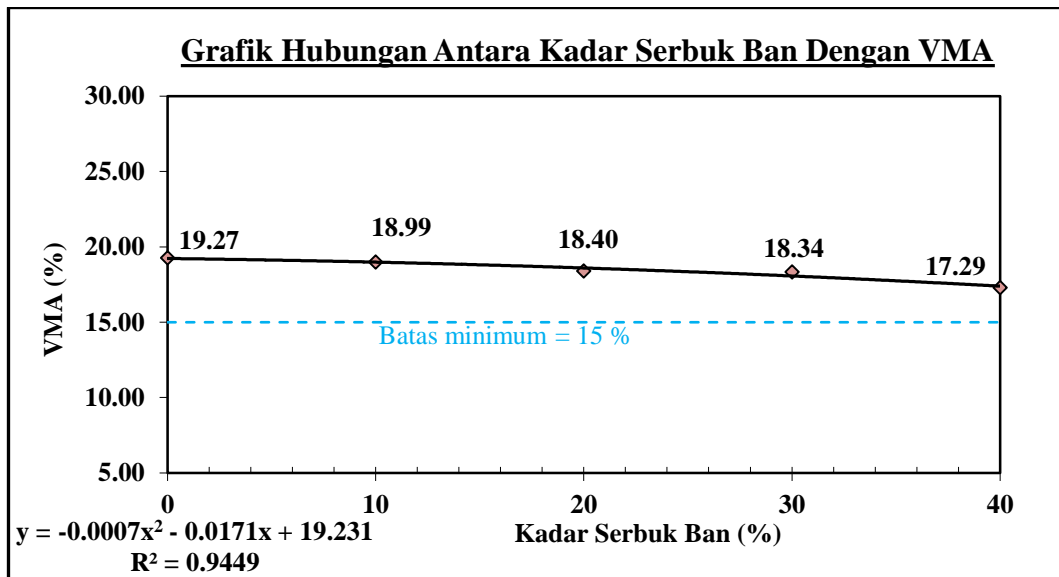
Grafik 5.9 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Stabilitas



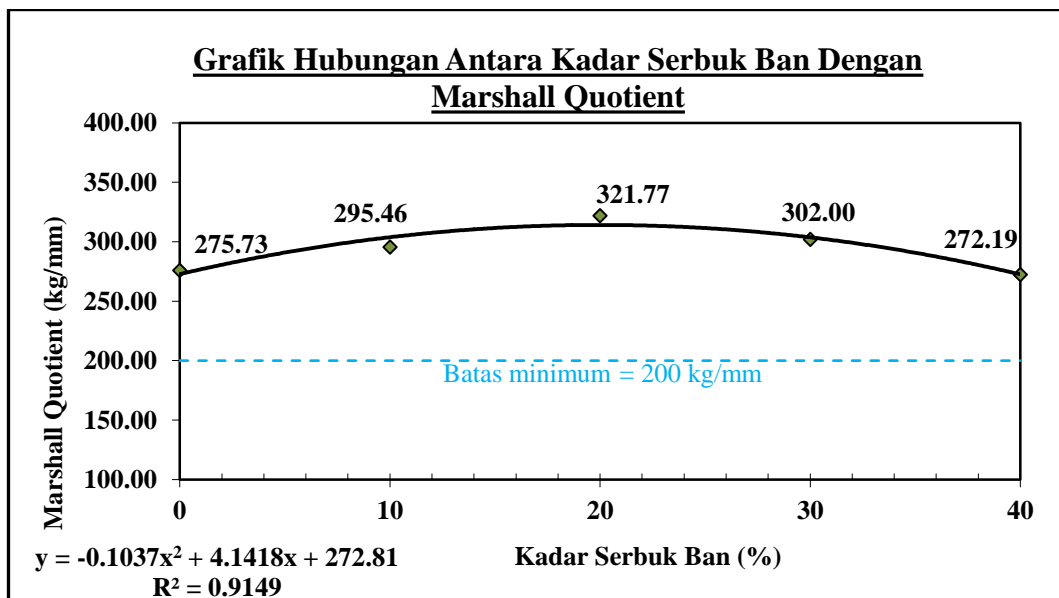
Grafik 5.10 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan Flow



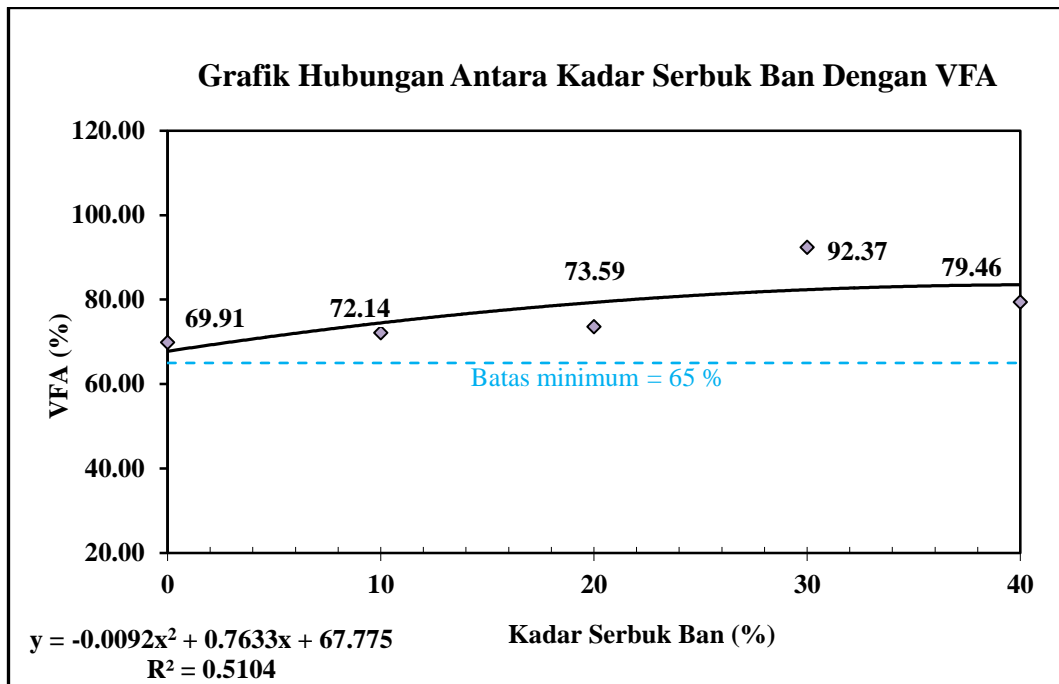
Grafik 5.11 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VIM



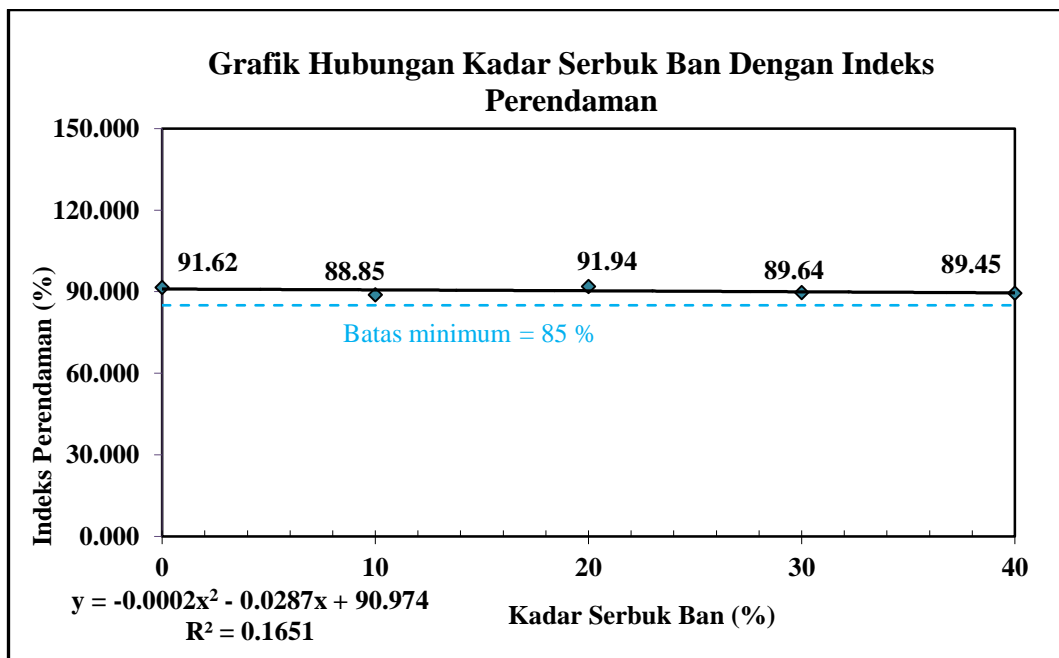
Grafik 5.12 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VMA



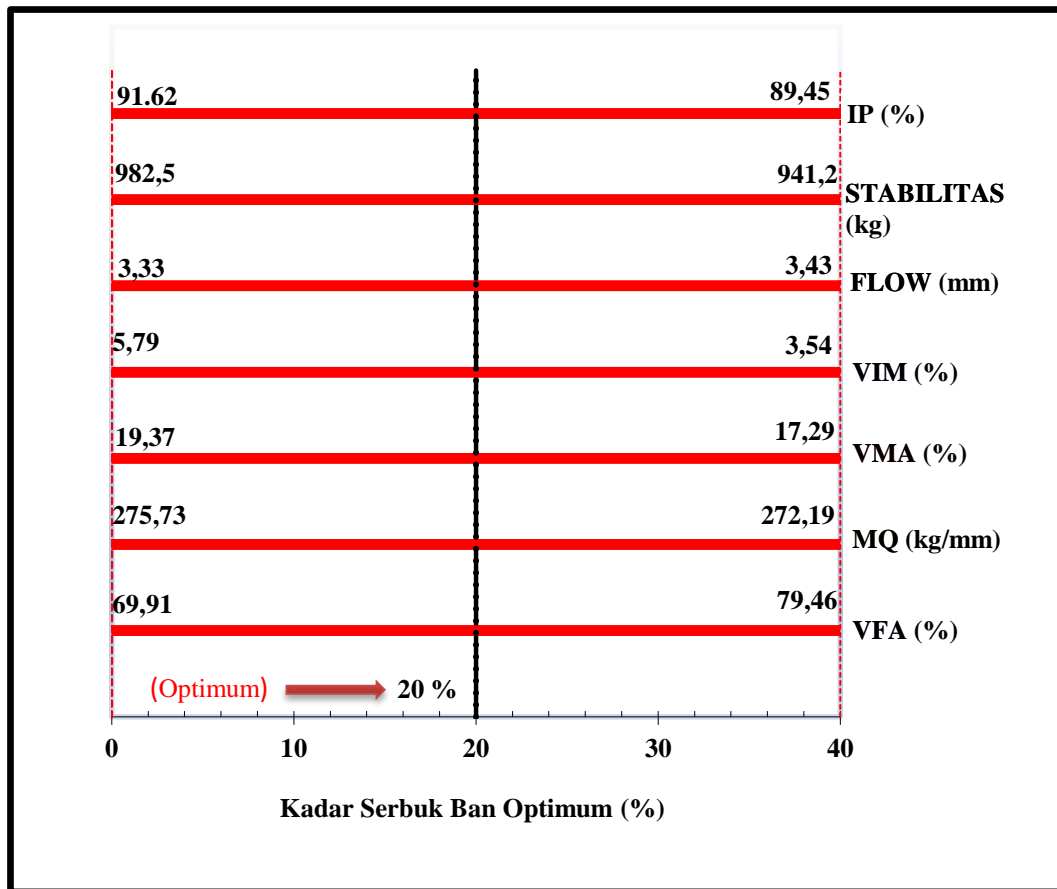
Grafik 5.13 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan MQ



Grafik 5.14 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk Ban Dengan VFA



Grafik 5.15 Interval Kepercayaan Hubungan Kadar Serbuk ban Dengan IP



Grafik 5.16 Diagram Batang Mencari Kadar Serbuk Ban Optimum

Berdasarkan grafik 5.16 diagram batang kadar serbuk ban optimum dengan menggunakan serbuk ban tidak semua kadar memenuhi persyaratan maka untuk mencari kadar serbuk ban optimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan MQ (*Marshall quotient*) yaitu :

$$x = \frac{40}{2}$$

$x = 20 \%$ (Nilai x positif karena rentang x 0 - 40)

Jadi kadar aspal optimum menggunakan filler abu batu adalah 20 %

Titik puncak Stabilitas pada kadar serbuk ban optimum

$$y = -0,19x^2 + 6,34x + 978,60$$

$$y = \{ -0,19 \times (6,34^2) \} + \{ 6,34 \times 20 \} + 978,60$$

$$y = 1065,13 \text{ Kg}$$

Jadi nilai Stabilitas optimum menggunakan filler abu batu kadar aspal optimum 20% adalah 1065,13 Kg.

B. Perhitungan Dengan Menggunakan Metode Regresi

Perhitungan ini digunakan sebagai pembandingan dari persamaan dan koefisien determinasi (R^2) yang didapat dari program Microsoft Excel XP.

Perhitungan yang digunakan adalah Analisa Regresi

Pada penelitian ini untuk menganalisis variasi kadar aspal terhadap kuat tekan (stabilitas) campuran aspal beton digunakan metode fungsi kuadratik (Sudjono,1996;338), dengan regresi bentuk persamaan

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2$$

Dengan persamaan perhitungannya sebagai berikut :

$$\sum Y = na + b\sum X + c\sum X^2$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 + c\sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4$$

Analisis regresi data Stabilitas :

Tabel 5.27 Perhitungan Metode Regresi

No	x	y	y ²	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	0	982,4907	965288,033	0	0	0	0	0
2	10	1003,693	1007398,99	100	1000	10000	10036,93	100369,3
3	20	1066,187	1136753,78	400	8000	160000	21323,73	426474,6
4	30	972,9126	946558,966	900	27000	810000	29187,38	875621,4
5	40	941,2253	885905,091	1600	64000	2560000	37649,01	1505961
Total	100	4966,508	4941904,85	3000	100000	3540000	98197,05	2908426

Dari tabel 5.26 maka didapat persamaan :

$$4966,508 = 5a + 100b + 3000c$$

$$98197,05 = 100a + 3000b + 100000c$$

$$2908426 = 3000a + 100000b + 3540000c$$

Dari persamaanya didapat : =

$$a = -0,29$$

$$b = 9,10$$

$$c = 972,23$$

Maka persamaanya adalah :

$$\hat{Y} = -0,29 + 9,10 + 972,23$$

Mencari koefisien determinasi (R²) :

$$JK(b | a) = (b - \{\frac{\sum XY}{n}\}) + (c - \{\frac{\sum X^2 Y}{n}\})$$

$$= (9,10 \{ 98197,05 - \frac{100 \times 4966,508}{5} \})$$

$$+ (972,23 \{ 9,10 - \frac{3000 \times 4966,508}{5} \})$$

$$= 286945009,8$$

$$JK (E) = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$= 2304650926 - \frac{(4888,012)^2}{5}$$

$$= 312983706,3$$

$$R^2 = \frac{JK(b|a)}{JK(E)}$$

$$= \frac{287945009,8}{312983706,3}$$

$$= 0,92$$

Tabel 5.28 Daftar Nilai Yang Perlu Untuk Menentukan Regresi

Nilai Karakteristik	Program Microsoft Excel XP	Metode Statistik
Stabilitas (Kg)	$y = -0,19x^2 + 8,64x + 978,39$ $R^2 = 0,92$	$y = -0,19x^2 + 8,64x + 978,40$ $R^2 = 0,93$
Flow (mm)	$y = 0,00041x^2 + 0,01518x + 3,35214$ $R^2 = 0,55946$	$y = 0,00020x^2 + 0,01728x + 3,439227$ $R^2 = 0,5594$
VIM(%)	$y = -0,0008x^2 - 0,0158x + 5,6434$ $R^2 = 0,8624$	$y = 0,00041x^2 + 0,01528x + 3,35214$ $R^2 = 0,559$
VMA(%)	$y = -0,0007x^2 + 0,0171x + 19,231$ $R^2 = 0,9449$	$y = -0,0007x^2 + 0,0171x + 19,231$ $R^2 = 0,94$
MQ (%)	$y = -0,1037x^2 + 4,1418x + 272,81$ $R^2 = 0,914$	$y = -0,1037x^2 + 4,1418x + 272,81$ $R^2 = 0,914$
VFA (Kg/mm)	$y = -0,0092x^2 + 0,7633x + 67,775$ $R^2 = 0,5104$	$y = -0,0092x^2 + 0,7643x + 67,775$ $R^2 = 0,51$
Indeks Perendaman (%)	$y = -0,002x^2 + 0,00287x + 90,438$ $R^2 = 0,1651$	$y = -0,002x^2 + 0,0027x + 90,438$ $R^2 = 0,1652$

5.3 Uji Hipotesis

5.3.1 Uji Hipotesis Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Untuk mengetahui adanya pengaruh variasi kadar serbuk ban sebagai campuran agregat halus untuk campuran Asphalt concrete – Wearing coarse (Ac-Wc) dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisa varian satu arah dan sebagai pembanding digunakan Microsoft Excel XP.

5.3.1.1 Analisa Varian Data Stabilitas

Tabel 5.29 Data Stabilitas Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data Stabilitas					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata	
	1	2	3	4	5				
0%	881.579	897.270		833.000	804.924	3416.772	4	854.193	
5%	939.542	887.735	945.487		921.291	3694.056	4	923.514	
5,5%	989.136		986.969	972.827	981.031	3929.963	4	982.491	
6%	934.267	929.625		944.352	905.955	3714.199	4	928.550	
7%	881.759	930.727	754.748	888.231	762.388	4217.852	5	843.570	
						Total	18972.843	21	4532.318

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{18972,843^2}{21} = 17141369,7$$

$$Ay = \frac{3416,77^2}{4} + \frac{3694,05^2}{4} + \frac{3929,96^2}{4} + \frac{3714,199^2}{4} + \frac{4217,85^2}{4} - 17141369,7$$

$$= 56752,806$$

$$\sum Y^2 = 881,579^2 + 939,542^2 + 989,136^2 + \dots + 905,955^2 + 762,388^2$$

$$= 17232112,436$$

$$Dy = 17232112,436 - 17141369,7 - 56752,806$$

$$= 33989,929$$

Tabel 5.29.1 Daftar Anava Untuk Stabilitas Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> _{hitung}	<i>F</i> _{tabel}
Rata-rata	1	17141369.7	17141369.7	6.678778988	3.0069173
Antar kelompok	4	56752.806	14188.20142		
Dalam kelompok	16	33989.929	2124.370554		
Jumlah	21	33989.929			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{14188,20142}{2124,370554} = 6,678778$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,0555$

$$F_{hitung} = 6,678778 > F_{tabel} = 3.0069$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 6,678778$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3.0069$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

5.5.1.2 Analisa Varian Data Flow

Tabel 5.30 Data Flow Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data Flow					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	3.300		4.400	3.300	4.400	15.400	4	3.850
5%	4.400		3.200	3.400	3.300	14.300	4	3.575
5,5%	3.100	3.500	3.300		3.400	13.300	4	3.325
6%		3.900	3.700	4.000	3.800	15.400	4	3.850
7%	3.400	4.600	3.500	4.800	3.100	19.400	5	3.880
					Total	77.800	21	18.480

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{77,800^2}{21} = 288,2304$$

$$Ay = \frac{15,40^2}{4} + \frac{14,30^2}{4} + \frac{13,30^2}{4} + \frac{15,40^2}{4} + \frac{19,40^2}{5} - 288,2304$$

$$= 0,097$$

$$\sum Y^2 = 3,30^2 + 4,40^2 + 3,10^2 + \dots + 3,80^2 + 3,10^2$$

$$= 293,820$$

$$Dy = 293,820 - 288,2304 - 0,097$$

$$= 4.623$$

Tabel 5.30.1 Daftar Anava Untuk Flow Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>Fhitung</i>	<i>Ftabel</i>
Rata-rata	1	288.2304762	288.2304762	0.83627412	3.006917
Antar kelompok	4	0.967	0.241630952		
Dalam kelompok	16	4.623	0.2889375		
Jumlah	21	4.623			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{0,241630}{0,288937} = 0,83627$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,0069$

$$F_{hitung} = 0,83627 > F_{tabel} = 3.0069$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 9,035248$ lebih kecil dari $F_{tabel} = 3,0069$ maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a ditolak tidak ada perbedaan.

5.5.1.3 Analisa Varian Data VIM

Tabel 5.31 Data VIM Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data VIM					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	7.339	6.377	6.154		5.952	25.821	4	6.455
5%		6.084		6.659	6.191	18.934	3	6.311
5,5%	5.405		6.609	5.670	5.468	23.153	4	5.788
6%	4.031	3.936	4.806	4.139		16.911	4	4.228
7%	4.746	4.888	4.253	4.357		18.243	4	4.561
						Total 103.063	19	27.344

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{103,063^2}{19} = 559,052$$

$$Ay = \frac{25,82^2}{4} + \frac{18,93^2}{3} + \frac{23,15^2}{4} + \frac{16,91^2}{4} + \frac{18,24^2}{4} - 559,052$$

$$= 15,852$$

$$\sum Y^2 = 7,339^2 + 5,405^2 + 4,031^2 + \dots + 6,191^2 + 5,468^2$$

$$= 577,905$$

$$Dy = 577,905 - 559,052 - 15,852$$

$$= 3,000$$

Tabel 5.31.1 Daftar Anava Untuk VIM Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> _{hitung}	<i>F</i> _{tabel}
Rata-rata	1	559.0524532	559.0524532	18.49637	3.11225
Antar kelompok	4	15.852	3.963092625		
Dalam kelompok	14	3.000	0.214263254		
Jumlah	19	3.000			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{3,9630}{0,2142} = 18,496$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,112$

$$F_{hitung} = 18.496 > F_{tabel} = 3.112$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 18.496$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3.112$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

5.5.1.4 Analisa Varian Data VMA

Tabel 5.32 Data VMA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data VMA					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	18.553	17.707	17.511		17.333	71.103	4	17.776
5%		18.491		18.991	18.585	56.067	3	18.689
5,5%	18.937		19.969	19.164	18.991	77.060	4	19.265
6%	18.793	18.713	19.449	18.884		75.839	4	18.960
7%	20.409	20.528	19.998	20.085		81.020	4	20.255
					Total	361.090	19	94.945

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{361,090^2}{19} = 6862,4041$$

$$Ay = \frac{71,10^2}{4} + \frac{56,06^2}{3} + \frac{77,06^2}{4} + \frac{75,83^2}{4} + \frac{81,02^2}{4} - 6862,4041$$

$$= 12,873$$

$$\sum Y^2 = 18,553^2 + 18,937^2 + 18,793^2 + \dots + 18,585^2 + 18,991^2$$

$$= 6877,508$$

$$Dy = 6877,508 - 6862,404 - 12,873$$

$$= 2,231$$

Tabel 5.32.1 Daftar Anava Untuk VMA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> hitung	<i>F</i> tabel
Rata-rata	1	6862.404169	6862.404169	20.19371177	3.11225
Antar kelompok	4	12.873	3.218136425		
Dalam kelompok	14	2.231	0.159363294		
Jumlah	19	2.231			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{3,2181}{0,2593} = 20,1937$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,112$

$$F_{hitung} = 20,1937 > F_{tabel} = 3.112$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 20,1937$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3.112$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.33.1 Data MQ Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data MQ					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	231.994	224.318		208.250	196.323	860.885	4	215.221
5%	213.532		295.465	254.831	279.179	1043.007	4	260.752
5,5%		265.873	299.081	249.443	288.539	1102.936	4	275.734
6%	233.567	238.365	223.030	236.088		931.051	4	232.763
7%	259.341	202.332	215.642	185.048	245.932	1108.295	5	221.659
					Total	5046.173	21	1206.128

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$R_y = \frac{5046,173^2}{21} = 1212564,79$$

$$A_y = \frac{860,88^2}{4} + \frac{1043,007^2}{3} + \frac{1102,93^2}{4} + \frac{931,05^2}{4} + \frac{1108,29^2}{5} - 1212564,79$$

$$= 11175,841$$

$$\sum Y^2 = 231,99^2 + 213,532^2 + 233,56^2 + \dots + 288,53^2 + 245,93^2$$

$$= 1233714,262$$

$$D_y = 1233714,262 - 1212564,79 - 11175,841$$

$$= 9973,628$$

Tabel 5.33.1 Daftar Anava Untuk MQ Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> _{hitung}	<i>F</i> _{tabel}
Rata-rata	1	1212564.793	1212564.793	4.482156782	3.006917
Antar kelompok	4	11175.841	2793.960311		
Dalam kelompok	16	9973.628	623.3517582		
Jumlah	21	9973.628			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{2793,960}{623,351} = 4,4821$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,112$

$$F_{hitung} = 4,4821 > F_{tabel} = 3.0069$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 4,4821$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3,0069$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.34 Data VFA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data VFA					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	60.351	63.890	64.760		65.564	254.564	4	63.641
5%		67.009		64.846	66.595	198.450	3	66.150
5,5%	71.367		66.819	70.325	71.118	279.628	4	69.907
6%	78.462	78.878	75.205	77.994		310.539	4	77.635
7%	76.667	76.109	78.651	78.224		309.651	4	77.413
					Total	1352.832	19	354.745

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{1352,832^2}{19} = 96323,888$$

$$Ay = \frac{254,56^2}{4} + \frac{198,45^2}{3} + \frac{279,628^2}{4} + \frac{310,53^2}{4} + \frac{309,65^2}{4} - 96323,888$$

$$= 631,768$$

$$\sum Y^2 = 60,35^2 + 71,36^2 + 78,46^2 + \dots + 66,59^2 + 71,11^2$$

$$= 97000,14$$

$$Dy = 97000,14 - 96323,888 - 631,768$$

$$= 44,493$$

Tabel 5.34.1 Daftar Anava Untuk VFA Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> hitung	<i>F</i> tabel
Rata-rata	1	96323.88866	96323.88866	49.6977968	3.112249848
Antar kelompok	4	631.768	157.9420338		
Dalam kelompok	14	44.493	3.178049008		
Jumlah	19	44.493			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{157,9420}{3,17804} = 49,6977$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,112$

$$F_{hitung} = 49,6977 > F_{tabel} = 3.112$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 49,6977$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3,112$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.35 Data IP Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Kadar aspal %	Data IP					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	772.990	695.415	697.898	762.112	757.494	3685.908	5	737.182
5%	852.739	918.995	836.350	911.351	853.353	4372.788	5	874.558
5,5%		969.959	914.006	1018.123	929.820	3831.908	4	957.977
6%	786.286		854.351	891.124	856.526	3388.287	4	847.072
7%	759.548	748.037	724.753	709.345		2941.683	4	735.421
					Total	18220.573	22	4152.208

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$R_y = \frac{18220,573^2}{22} = 15090421,86$$

$$A_y = \frac{3685,90^2}{5} + \frac{4372,78^2}{5} + \frac{3831,90^2}{4} + \frac{3388,28^2}{4} + \frac{2941,68^2}{4} - 15090421,86$$

$$= 631,768$$

$$\sum Y^2 = 772,99^2 + 852,73^2 + 786,28^2 + \dots + 929,82^2 + 856,52^2$$

$$= 15090421,86$$

$$D_y = 15090421,86 - 15090421,86 - 631,768$$

$$= 25118,309$$

Tabel 5.35.1 Daftar Anava Untuk IP Variasi Kadar Tanpa Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> _{hitung}	<i>F</i> _{tabel}
Rata-rata	1	15090421.86	15090421.86	26.29215235	2.964708
Antar kelompok	4	155391.624	38847.90598		
Dalam kelompok	17	25118.309	1477.547576		
Jumlah	22	25118.309			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{38847,9059}{1477,54} = 26,2921$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 2,964$

$$F_{hitung} = 26,2921 > F_{tabel} = 2,964$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 26,2921$ lebih besar dari $F_{tabel} = 2,964$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

5.3.2 Uji Hipotesis Variasi Kadar Serbuk Ban

Untuk mengetahui adanya pengaruh variasi kadar serbuk ban sebagai campuran agregat halus untuk campuran Asphalt concrete – Wearing coarse (Ac-Wc) dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisa varian satu arah dan sebagai pembanding digunakan Microsoft Excel XP.

5.3.2.1 Analisa Varian Data Stabilitas

Tabel 5.36 Data Stabilitas Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar Serbuk ban %	Data Stabilitas					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata	
	1	2	3	4	5				
0%	989,14		986,97	972,83	981,03	3929,96	4	982,491	
10%	1028,79	1030,00	985,79	970,19		4014,77	4	1003,693	
20%	1041,89		1036,32	1068,91	1117,63	4264,75	4	1066,187	
30%	1018,04	962,76		1000,76	910,09	3891,65	4	972,913	
40%	930,21	940,15		935,72	958,81	3764,90	4	941,225	
						Total	19866,032	20	4966,508

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{19866,032^2}{20} = 19732961$$

$$Ay = \frac{3929,96^2}{4} + \frac{4014,77^2}{4} + \frac{4264,75^2}{4} + \frac{3891,65^2}{4} + \frac{3764,90^2}{4} - 19732961$$

$$= 34658,866$$

$$\sum Y^2 = 989,14^2 + 1028,79^2 + 1041,89^2 + \dots + 910,09^2 + 958,81^2$$

$$= 19782004,263$$

$$Dy = 19782004,263 - 19732961 - 34658,866$$

$$= 14384,85518$$

Tabel 5.36.1 Daftar Anava Untuk Stabilitas Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	19732961	19732960,54	9,03524892	3,0555683
Antar kelompok	4	34658,866	8664,716527		
Dalam kelompok	15	14384,855	958,99035		
Jumlah	20	14384,855			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{8664,716527}{958,99035} = 9,035248$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,0555$

$$F_{hitung} = 9,035248 > F_{tabel} = 3,0555$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 9,035248$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3,0555$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.37 Data Flow Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk ban %	Data Flow					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	3.100	3.500	3.300		3.400	13.300	4	3.325
10%	3.800	3.600	4.600		3.000	15.000	4	3.750
20%	3.600	4.600		3.400	3.000	14.600	4	3.650
30%	3.400	4.400		3.300	3.200	14.300	4	3.575
40%	4.300	4.600	5.600		4.200	18.700	4	4.675
						Total	20	18.975

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$R_y = \frac{75,900^2}{20} = 288,040$$

$$A_y = \frac{13,30^2}{4} + \frac{15,00^2}{4} + \frac{14,60^2}{4} + \frac{14,30^2}{4} + \frac{18,70^2}{4} - 288,040$$

$$= 4,267$$

$$\sum Y^2 = 3,10^2 + 3,80^2 + 3,60^2 + \dots + 3,20^2 + 4,20^2$$

$$= 297,250$$

$$Dy = 297,250 - 288,040 - 4,267$$

$$= 4,943$$

Tabel 5.37.1 Daftar Anava Untuk Flow Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> _{hitung}	<i>F</i> _{tabel}
Rata-rata	1	288.0405	288.0405	3.237481032	3.055568
Antar kelompok	4	4.267	1.06675		
Dalam kelompok	15	4.943	0.3295		
Jumlah	20	4.943			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{1,0667}{0,3295} = 3,2374$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,0555$

$$F_{hitung} = 3,2374 > F_{tabel} = 3,0555$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 3,2374$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3,0555$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.38 Data VIM Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk ban %	Data VIM					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata	
	1	2	3	4	5				
0%	5.405		6.609	5.670	5.468	23.153	4	5.788	
10%	5.321	5.611	4.803		4.976	20.711	4	5.178	
20%		4.788	4.515	4.625	5.385	19.313	4	4.828	
30%	4.093	5.345	5.495	4.436	4.446	23.816	5	4.763	
40%	3.407	2.669	2.761	4.517	4.346	17.700	5	3.540	
						Total	104.693	22	24.097

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{104,69^2}{22} = 498,2104$$

$$Ay = \frac{23,15^2}{4} + \frac{20,71^2}{4} + \frac{19,71^2}{4} + \frac{23,81^2}{4} + \frac{17,70^2}{4} - 298,21$$

$$= 12,387$$

$$\sum Y^2 = 5,40^2 + 5,32^2 + 4,09^2 + \dots + 4,44^2 + 4,34^2$$

$$= 516,89$$

$$Dy = 516,89 - 298,21 - 516,89$$

$$= 6,296$$

Tabel 5.38.1 Daftar Anava Untuk VIM Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	498.2104354	498.2104354	8.36165322	2.964708
Antar kelompok	4	12.387	3.096845459		
Dalam kelompok	17	6.296	0.370362819		
Jumlah	22	6.296			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{3,09684}{0,37036} = 8,3616$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 2,964$

$$F_{hitung} = 8,3616 > F_{tabel} = 2,964$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 8,3616$ lebih besar dari $F_{tabel} = 2,964$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.39 Data VMA Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk Ban %	Data VMA					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata	
	1	2	3	4	5				
0%	18.937		19.969	19.164	18.991	77.060	4	19.265	
10%	18.821		18.377	20.223	18.525	75.946	4	18.986	
20%		18.364	18.130	18.224	18.876	73.593	4	18.398	
30%	17.768	18.842	18.970	18.062	18.071	91.713	5	18.343	
40%	17.180	16.547	16.626	18.132	17.985	86.469	5	17.294	
						Total	404.782	22	92.286

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$R_y = \frac{404,78^2}{22} = 7447,644$$

$$A_y = \frac{77,06^2}{4} + \frac{75,94^2}{4} + \frac{73,59^2}{4} + \frac{91,71^2}{5} + \frac{86,46^2}{5} - 7447,644$$

$$= 10,503$$

$$\sum Y^2 = 18,93^2 + 18,821^2 + 17,76^2 + \dots + 18,07^2 + 17,98^2$$

$$= 7464,630$$

$$D_y = 7464,630 - 7447,644 - 10,503$$

$$= 6,482$$

Tabel 5.39.1 Daftar Anava Untuk VMA Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	7447.644755	7447.644755	6.886337249	2.964708
Antar kelompok	4	10.503	2.625735262		
Dalam kelompok	17	6.482	0.381296351		
Jumlah	22	6.482			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{2,62573}{0,38129} = 6,88633$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 2,964$

$$F_{hitung} = 6,8863 > F_{tabel} = 2,964$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 6,8863$ lebih besar dari $F_{tabel} = 2,964$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.40 Data MQ Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk Ban %	Data Marshall Quotient					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%		265.873	299.081	249.443	288.539	1102.936	4	275.734
10%	270.733	286.112	214.302		284.389	1055.536	4	263.884
20%	336.094	262.375	314.036	274.079	328.715	1515.298	5	303.060
30%	299.424	218.809		303.261	284.403	1105.897	4	276.474
40%	216.329	204.380	146.306	141.776	228.289	937.080	5	187.416
					Total	5716.746	22	1306.568

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$Ry = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{5716,74^2}{22} = 1485508,22$$

$$Ay = \frac{1102,93^2}{4} + \frac{1055,53^2}{4} + \frac{1515,29^2}{5} + \frac{1105,89^2}{4} + \frac{937,080^2}{5} - 1485508,22$$

$$= 37748,45$$

$$\sum Y^2 = 270,73^2 + 336,09^2 + 299,42^2 + \dots + 284,40^2 + 228,28^2$$

$$= 1543738,80$$

$$Dy = 1543738,80 - 1485508,22 - 37748,45$$

$$= 6,482$$

Tabel 5.40.1 Daftar Anava Untuk MQ Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	<i>F</i> hitung	<i>F</i> tabel
Rata-rata	1	1485508.226	1485508.226	7.83272872	2.964708
Antar kelompok	4	37748.456	9437.114062		
Dalam kelompok	17	20482.126	1204.83096		
Jumlah	22	20482.126			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{9437,1140}{1204,8309} = 7,8327$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 2,964$

$$F_{hitung} = 7,8327 > F_{tabel} = 2,964$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 7,8327$ lebih besar dari $F_{tabel} = 2,964$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.41 Data VFA Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk Ban %	Data VFA					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	71.367		66.819	70.325	71.118	279.628	4	69.907
10%	71.541	70.392	73.670		72.947	288.550	4	72.138
20%		73.734	74.901	74.427	71.285	294.346	4	73.587
30%	76.762	71.443	70.847	75.242	75.199	369.493	5	73.899
40%	79.959	83.652	83.174	74.890	75.637	397.312	5	79.462
						Total	22	368.992

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$R_y = \frac{1629,32^2}{22} = 120668,821$$

$$A_y = \frac{279,62^2}{4} + \frac{288,55^2}{4} + \frac{294,34^2}{4} + \frac{369,49^2}{5} + \frac{397,31^2}{5} - 120668,821$$

$$= 230,730$$

$$\sum Y^2 = 71,36^2 + 71,54^2 + 76,76^2 + \dots + 71,18^2 + 72,94^2$$

$$= 121021,2$$

$$D_y = 121021,2 - 120668,821 - 230,730$$

$$= 121,624$$

Tabel 5.41.1 Daftar Anava Untuk VFA Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	120668.8214	120668.8214	8.062582	2.96470811
Antar kelompok	4	230.730	57.68242197		
Dalam kelompok	17	121.624	7.15433596		
Jumlah	22	121.624			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{57,68241}{7,15433} = 8,06258$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 2,964$

$$F_{hitung} = 8,06258 > F_{tabel} = 2,964$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 8,06258$ lebih besar dari $F_{tabel} = 2,964$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.42 Data IP Variasi Kadar Serbuk Ban

Kadar serbuk Ban %	Data IP					Jumlah	Pengamatan	Rata-rata
	1	2	3	4	5			
0%	923.974	913.063	867.650	895.785		3600.473	4	900.118
10%	865.220	906.523	888.533	906.923		3567.199	4	891.800
20%	947.643	964.573	1013.785		994.897	3920.899	4	980.225
30%	858.493		863.598	869.387	896.889	3488.366	4	872.092
40%	830.460	824.544	852.192		860.347	3367.543	4	841.886
					Total	17944.480	20	4486.120

Dari tabel diatas kemudian dihitung :

$$R_y = \frac{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}{\text{Jumlah Seluruh Nilai Pengamatan}}$$

$$Ry = \frac{17944,480^2}{20} = 16100217,96$$

$$Ay = \frac{3600,47^2}{4} + \frac{3567,19^2}{4} + \frac{3920,89^2}{4} + \frac{3488,36^2}{4} + \frac{3367,54^2}{4} - 16100217,96$$

$$= 42483,536$$

$$\sum Y^2 = 923,97^2 + 865,22^2 + 947,64^2 + \dots + 896,88^2 + 860,34^2$$

$$= 16150079,45$$

$$Dy = 16150079,45 - 16100217,96 - 42483,536$$

$$= 7377,960$$

Tabel 5.42.1 Daftar Anava Untuk IP Variasi Kadar Serbuk Ban

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (dk)	Jumlah Kuadrat (dk)	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Rata-rata	1	16100217,96	16100217,96	21,59313199	3,055568
Antar kelompok	4	42483,536	10620,8841		
Dalam kelompok	15	7377,960	491,863992		
Jumlah	20	7377,960			

$$F_{hitung} = \frac{\text{Kuadrat tengah antar kelompok}}{\text{Kuadrat Tengah dalam kelompok}} = \frac{10620,8841}{491,8639} = 21,5931$$

Untuk taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dengan $V_1 = 4$ dan $V_2 = 15$, maka dari tabel distribusi F didapat nilai $F_{tabel} = 3,0555$

$$F_{hitung} = 21,5931 > F_{tabel} = 3,0555$$

Kesimpulan $F_{hitung} = 21,5931$ lebih besar dari $F_{tabel} = 3,0555$ maka dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pada tiap kelompok perlakuan. Oleh karena itu H_a diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.43 Pengujian Hipotesis Tanpa Menggunakan Serbuk Ban Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Ac- Wc

Parameter	Fhitung	</>	Ftabel	Kesimpulan
Stabilitas (Kg)	6.679	>	2.965	HA diterima, Ada perbedaan
Flow (%)	0.836	<	3.007	HA ditolak, Tidak ada perbedaan
VIM (%)	18.496	>	3.112	HA diterima, Ada perbedaan
VMA (%)	20.194	>	3.112	HA diterima, Ada perbedaan
MQ (Kg/mm)	4.482	>	3.007	HA diterima, Ada perbedaan
VFA (%)	49.698	>	3.112	HA diterima, Ada perbedaan
Indeks Perendaman (%)	26.292	>	2.965	HA diterima, Ada perbedaan

Tabel 5.43 Pengujian Hipotesis Kadar Serbuk Ban Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Ac- Wc

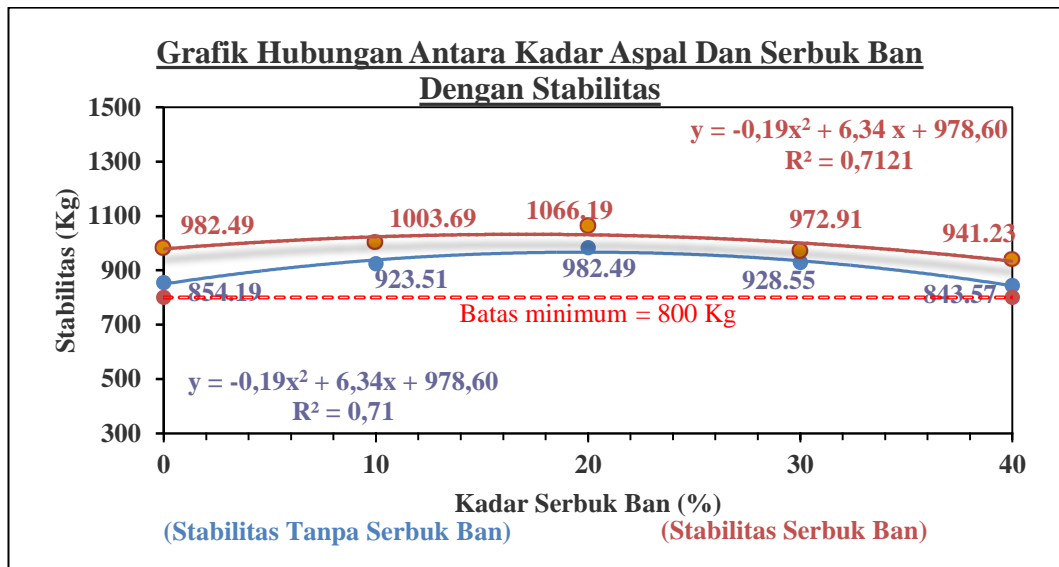
Parameter	Fhitung	</>	Ftabel	Kesimpulan
Stabilitas (Kg)	9.035	>	3.056	Ha diterima, Ada perbedaan
Flow (%)	3.237	>	3.056	Ha diterima, Ada perbedaan
VIM (%)	8.362	>	2.965	Ha diterima, Ada perbedaan
VMA (%)	6.886	>	2.965	Ha diterima, Ada perbedaan
MQ (Kg/mm)	7.833	>	2.965	Ha diterima, Ada perbedaan
VFA (%)	8.063	>	2.965	Ha diterima, Ada perbedaan
Indeks Perendaman (%)	21.593	>	3.056	Ha diterima, Ada perbedaan

5.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian perbedaan penggunaan dua jenis bahan material tanpa serbuk dan menggunakan serbuk ban sebagai bahan campuran agregat halus terhadap lapisan permukaan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) yang dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui adanya perbedaan kedua jenis material tersebut terhadap nilai karakteristik (Stabilitas, Flow, VIM, VMA, MQ, VFA, dan Indeks Perendaman) dapat direkomendasikan sebagai berikut :

5.4.1 Stabilitas

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan stabilitas dapat dilihat pada grafik 5.17 sebagai berikut :



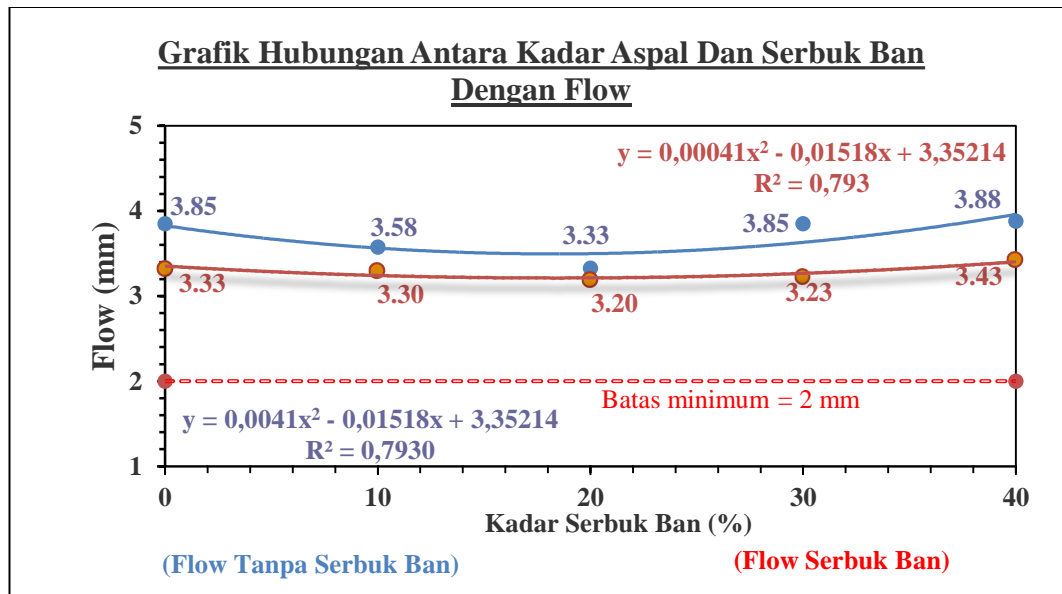
Grafik 5.17 Hubungan Antara Kadar Material Dengan Stabilitas Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

Berdasarkan dari grafik 5.17 hubungan antara kadar kedua jenis material dengan stabilitas dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada material serbuk ban lebih tinggi dari material tanpa menggunakan serbuk ban, hal ini dipengaruhi oleh penambahan serbuk ban yang meningkatkan nilai stabilitas. Peningkatan nilai stabilitas ini disebabkan karena meningkatnya ikatan antara agregat dengan aspal dalam campuran karena adanya penambahan serbuk ban sebagai material campuran agregat halus (pasir). Nilai stabilitas pada penggunaan kadar serbuk ban sebesar 0% didapat stabilitas 982,49% dan mengalami peningkatan sampai kadar optimum serbuk ban sebesar 20% sebesar 1066,19% dengan nilai stabilitas puncak 1065,13%. Selanjutnya mengalami penurunan sampai kadar serbuk ban 40% sebesar 12,71% didapatkan nilai stabilitas sebesar 941,23%. Dengan demikian penggunaan material serbuk ban pada nilai stabilitas lebih tinggi dibanding penggunaan material pasir.

Pengujian Hipotesis untuk nilai stabilitas kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_o ditolak, yang menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi kadar nilai stabilitas untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk stabilitas yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

5.4.2 Flow

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan flow dapat dilihat pada grafik 5.18 sebagai berikut :



Grafik 5.18 Hubungan Antara Kadar Material Dengan Flow Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

Berdasarkan grafik 5.18 hubungan antara kadar kedua jenis material dengan Flow dapat disimpulkan bahwa nilai flow mempunyai bentuk yang berlawanan dengan kurva stabilitas. Hal ini berarti semakin bertambahnya kadar serbuk ban, ikatan yang dihasilkan semakin buruk karena dengan kadar aspal yang konstan, aspal tidak menyelimuti kadar serbuk ban dan agregat lain secara keseluruhan, sehingga mengurangi nilai stabilitas. Dengan naiknya nilai stabilitas, maka nilai kelelahan (flow) menjadi semakin menurun hal ini dikarenakan

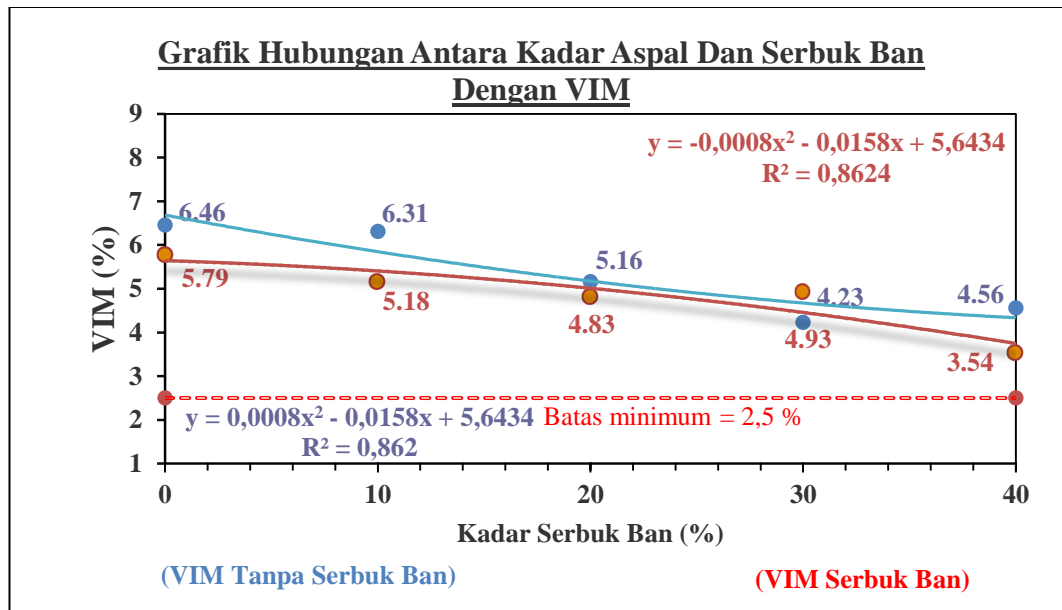
deformasi yang diakibatkan oleh pembebanan semakin kecil. Nilai flow pada grafik diatas menunjukkan bahwa

penggunaan kadar serbuk ban sebesar 0% didapatkan nilai flow 3,33 mm dan mengalami penuruna sampai kadar optimum serbuk ban sebesar 20% sebesar 3,20 mm dengan nilai flow puncak 3,24 mm. Selanjutnya mengalami peningkatan sampai kadar serbuk ban 40% sebesar 0,67 % didapatkan nilai flow sebesar 3,43 mm.

Pengujian Hipotesis untuk nilai flow kadar serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_o ditolak dan tanpa serbuk ban H_a ditolk karena tidak adanya perbedaan. Hal ini didapat dari hasil hipotesis kadar serbuk untuk flow yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, dan hasil hipotesis tanpa serbuk ban menunjukkan $F_{hitung} < F_{tabel}$.

5.4.3 VIM

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan VIM dapat dilihat pada grafik 5.19 sebagai berikut :



Grafik 5.19 Hubungan Antara Kadar Material Dengan VIM Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

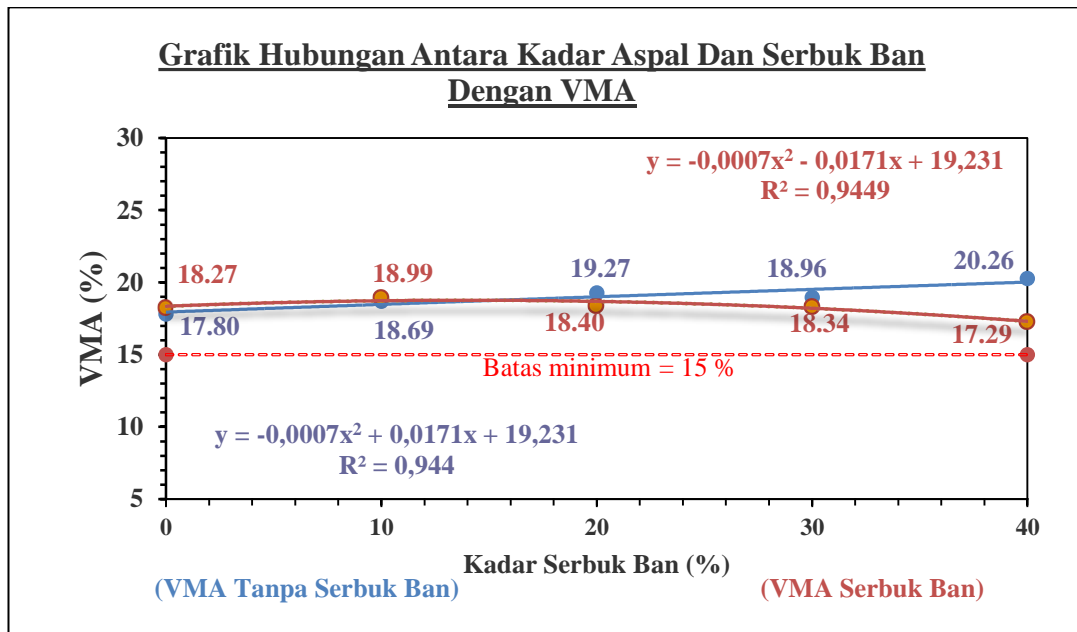
Berdasarkan grafik 5.19 hubungan kadar serbuk ban dengan VIM (*Void in mix*) dalam campuran menggunakan material serbuk ban sebagai pengganti material pasir untuk campuran AC-WC memperlihatkan besarnya nilai rongga (pori) pada campuran dan nilai rongga diantara butir agregat campuran. Pada penggunaan serbuk ban nilai VIM pada kadar serbuk ban 0% sebesar 5,79% sejalan dengan penambahan kadar serbuk ban mengalami penurunan sampai kadar serbuk ban optimum 20% sebesar 19% didapatkan nilai sebesar 4,83% dan sampai mengalami penurunan sampai kadar 40% sebesar 13,15% didapatkan nilai 3,54%.

Pada grafik penurunan nilai VIM yang terjadi disebabkan karena rongga dalam campuran selain terisi aspal juga terisi oleh kadar serbuk ban itu sendiri, dengan VIM terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding (aspal meleleh keluar). VIM ini dibutuhkan tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh beban lalu lintas, VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedapannya, sehingga mengakibatkan kerusakan pada jalan yang tidak sesuai umur rencana.

Pengujian Hipotesis untuk nilai VIM kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_0 ditolak, yang menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi kadar nilai VIM untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk VIM yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

5.4.4 VMA

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan VMA dapat dilihat pada grafik 5.20 sebagai berikut :



Grafik 5.20 Hubungan Antara Kadar Material Dengan VIM Non Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

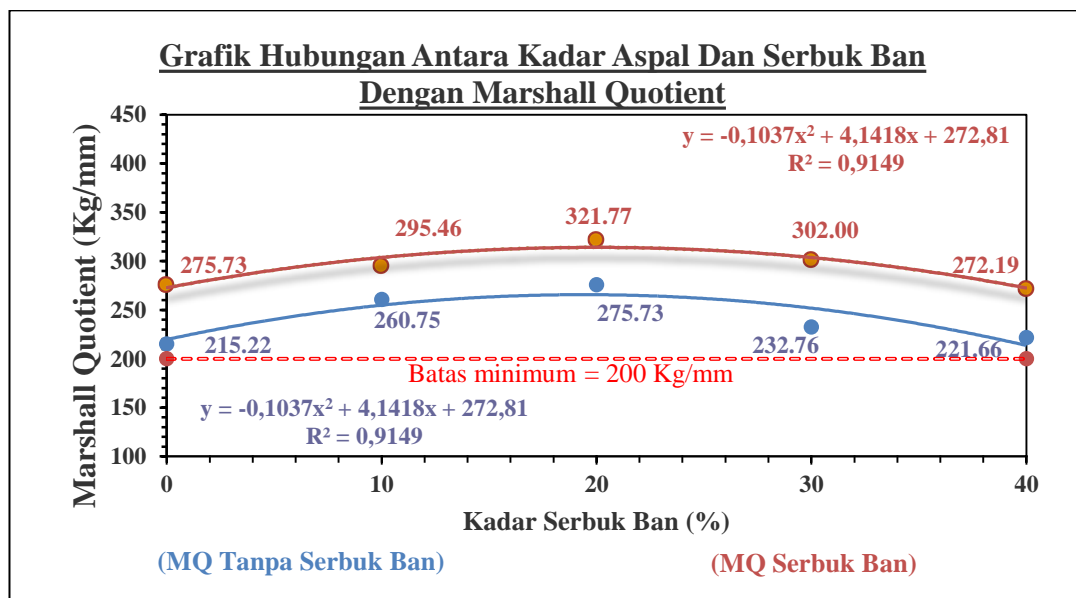
Berdasarkan grafik 5.20 hubungan kadar serbuk ban dengan VMA (*Void in the mineral aggregate*) dalam campuran menggunakan material serbuk ban sebagai pengganti material pasir untuk campuran AC-WC memperlihatkan besarnya nilai rongga (pori) pada campuran dan nilai rongga diantara butir agregat campuran. Pada penggunaan serbuk ban nilai VMA pada kadar serbuk ban 0% sebesar 18,27% sejalan dengan penambahan kadar serbuk ban mengalami peningkatan sampai kadar serbuk ban optimum 20% sebesar 0,71% didapatkan nilai sebesar 18,40% dan sampai mengalami penurunan sampai kadar 40% sebesar 6% didapatkan nilai 17,29%. Pada grafik penurunan nilai VMA yang terjadi

disebabkan karena rongga dalam campuran selain terisi aspal juga terisi oleh kadar serbuk ban itu sendiri, dengan VMA terlalu besar akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding (aspal meleleh keluar). VMA ini dibutuhkan tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh beban lalu lintas, VMA yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedapannya, sehingga mengakibatkan kerusakan pada jalan yang tidak sesuai umur rencana.

Pengujian Hipotesis untuk nilai VMA kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_0 ditolak, yang menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi kadar nilai VMA untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk VMA yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

5.4.5 Marshall Quotient

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan Marshall Quotient dapat dilihat pada grafik 5.21 sebagai berikut :



Grafik 5.21 Hubungan Antara Kadar Material Dengan Marshall Quotient Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban Pada Bahan Material Pasir dan Serbuk Ban

Berdasarkan Grafik 5.21 nilai Marshall Quotient merupakan indikator dari kelenturan yang mengalami peningkatan pada setiap penambahan kadar serbuk. Penambahan kadar serbuk sampai batas kadar serbuk tertentu (kadar serbuk optimum) ternyata mampu menaikkan nilai Marshall Quotient tetapi dengan terlalu banyak kadar filler akan mengakibatkan campuran menjadi getas karena terlalu banyak kadar filler sehingga ikatan dalam campuran menjadi berkurang sehingga menurunkan nilai Marshall Quotient.

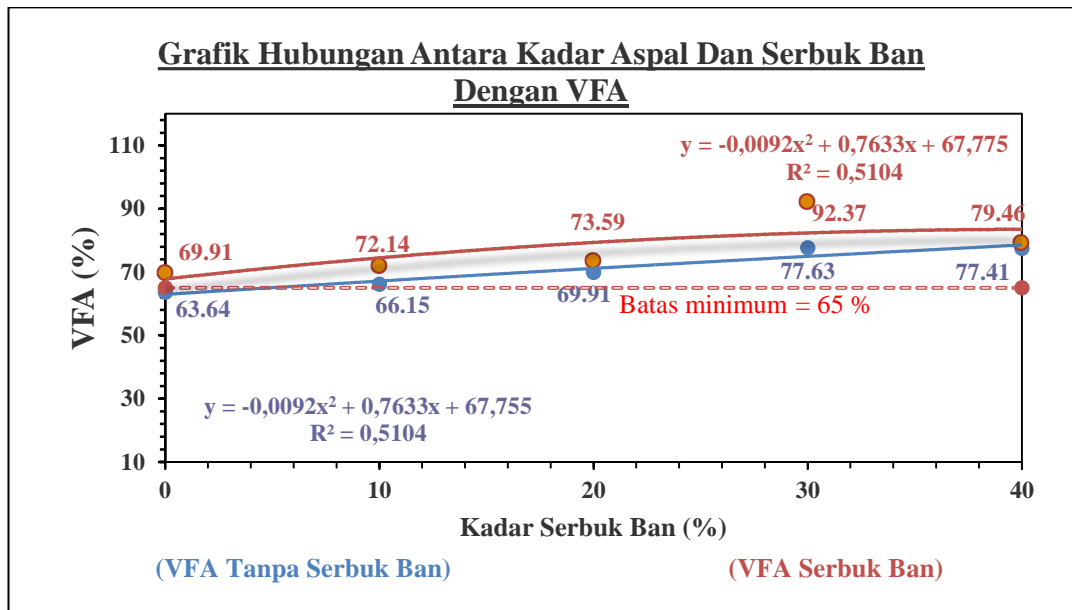
Dari grafik 5.21 grafik hubungan kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban dengan Marshall Quotient terlihat bahwa pada penggunaan serbuk ban nilai Marshall Quotient pada kadar serbuk ban 0% sebesar 275,73 Kg/mm sejalan dengan penambahan kadar serbuk ban mengalami peningkatan sampai kadar serbuk ban optimum 20% sebesar 16,69% didapatkan nilai sebesar 321,77 Kg/mm dan sampai mengalami penurunan sampai kadar 40% sebesar 18% didapatkan nilai 272,19 Kg/mm.

Kedua kurva MQ dari kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban memiliki bentuk yang hampir sama, yakni memiliki titik puncak. Hal ini berarti perbandingan nilai stabilitas dan flow pada kadar serbuk ban memiliki kekonstanan, yakni semakin tinggi nilai stabilitas maka nilai flow turun. Terlihat pada grafik diatas bahwa nilai MQ pada penggunaan serbuk ban sebagai pengganti agregat halus (pasir) lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan serbuk ban, dikarenakan stabilitas serbuk ban lebih tinggi dibandingkan tanpa serbuk ban, sehingga mengakibatkan nilai flow serbuk ban lebih rendah dari pada nilai flow tanpa serbuk ban dalam menahan deformasi untuk mendistribusikan beban.

Pengujian Hipotesis untuk nilai MQ kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_o ditolak, yang menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi kadar nilai MQ untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk MQ yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

5.4.6 VFA

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan VFA dapat dilihat pada grafik 5.22 sebagai berikut :



Grafik 5.22 Hubungan Antara Kadar Material Dengan Marshall Quotient Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

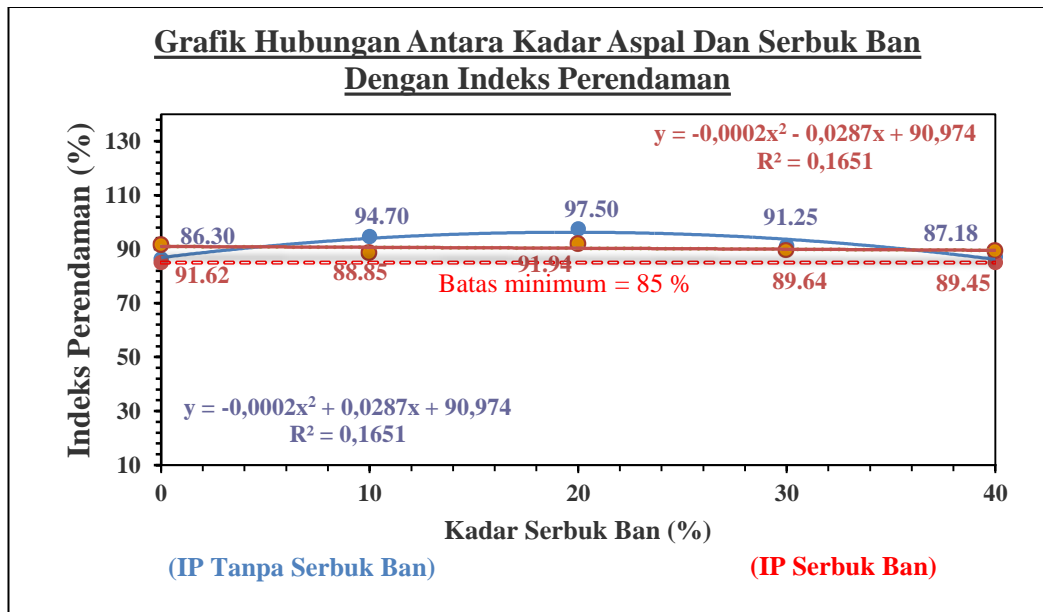
Berdasarkan grafik 5.22 hubungan kadar serbuk ban dengan VFA (Pori antar butir agregat terisi aspal) dalam campuran menggunakan material serbuk ban sebagai pengganti material pasir untuk campuran AC-WC memperlihatkan besarnya nilai rongga (pori) pada campuran dan nilai rongga diantara butir agregat campuran yang terisi aspal. Pada penggunaan serbuk ban nilai VFA pada kadar serbuk ban 0% sebesar 69,91% sejalan dengan penambahan kadar serbuk ban mengalami peningkatan sampai kadar serbuk ban optimum 20% sebesar 5,34% didapatkan nilai sebesar 73,59% dan sampai mengalami penurunan sampai kadar 40% sebesar 7,2% didapatkan nilai 79,46%. Pada grafik penurunan nilai VFA

yang terjadi disebabkan karena rongga dalam campuran selain terisi aspal juga terisi oleh kadar serbuk ban itu sendiri. VFA ini tempat melekatnya antar butir-butir agregat yang terisi aspal, VFA yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya karena dipengaruhi antar butir agregat yang bergeser, sehingga mengakibatkan kerusakan pada jalan yang tidak sesuai umur rencana.

Pengujian Hipotesis untuk nilai VFA kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan H_a diterima dan H_o ditolak, yang menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi kadar nilai VFA untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk VFA yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$

5.4.7 Indeks Perendaman

Hubungan antara kadar kedua jenis material dengan Indeks perendaman dapat dilihat pada grafik 5.23 sebagai berikut :



Grafik 5.23 Hubungan Antara Kadar Material Dengan Marshall Quotient Tanpa Serbuk Ban Dan Menggunakan Serbuk Ban

Berdasarkan grafik 5.23 uji perendaman terhadap campuran AC-WC pada kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban menunjukan pada kadar serbuk ban optimum 20% sebesar 91,94% nilai indeks perendaman dan pada kadar tanpa serbuk ban sebesar 97,50% nilai indeks perendaman. Pada kadar tanpa serbuk ban menunjukan nilai indeks perendaman lebih besar dibandingkan menggunakan serbuk ban, artinya kadar tanpa serbuk ban lebih mudah menyerap air dan mempunyai daya tahan yang dipengaruhi faktor cuaca.

Pengujian Hipotesis untuk Indeks Perndaman kadar serbuk ban dan tanpa serbuk ban didapatkan Ha diterima dan Ho ditolak, yang menunjukan bahwa ada

pengaruh variasi kadar nilai Indeks Perendaman untuk campuran AC-WC. Hal ini didapat dari hasil hipotesis untuk Indeks Perendaman yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$.

5.4.8 Kadar Serbuk Ban Optimum

Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% 7% didapatkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,15% dengan nilai stabilitas optimum sebesar 983,87 Kg, yang akan diperlakukan sebagai sumber untuk mencari kadar serbuk ban optimum dengan penambahan kadar serbuk ban mulai dari : 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dengan parameter karakteristik Marshall (Stabilitas, Flow, VIM, VMA, MQ, VFA, Indeks Perendaman). Maka didapatkan hasil penambahan serbuk ban kadar serbuk ban sebesar 20% dengan nilai stabilitas optimum sebesar 1066,19 Kg telah memenuhi syarat dari spesifikasi AC-WC demikian dapat diketahui bahwa hasil stabilitas tertinggi dicapai oleh penggunaan serbuk ban sebesar 1066,19 Kg lebih besar dari pada tanpa menggunakan serbuk ban sebesar 982,49 Kg . Dengan demikian dapat dikatakan bahwa berdasarkan stabilitas yang dihasilkan, maka campuran dengan penggunaan serbuk ban lebih baik dari campuran yang tanpa menggunakan serbuk ban, maka penggunaan serbuk ban dapat digunakan sebagai bahan material campuran agregat halus (pasir) terhadap kinerja perkerasan jalan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilaksanakan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Uji Hipotesis Statistik menggunakan bahan tambah material serbuk ban sebagai campuran agregat halus untuk panas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) didapatkan hasil $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_a diterima dan H_o ditolak, hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan karakteristik Marshall kinerja perkerasan jalan.
2. Bahan tambah material alternatif serbuk bann sebagai campuran agregat halus untuk panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) didapatkan kadar serbuk ban optimum 20 % diperoleh nilai Stabilitas 1065,13 Kg, Flow 3,2 mm, VIM 5,15 %, VMA 19,26%, Marshall Quotient 274,89 Kg/mm, VFA 73,46%, Indeks Perendaman 91,92 %. Dengan demikian serbuk ban dapat digunakan sebagai bahan tambah material alternatif untuk campuran agregat halus untuk panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) terhadap kareteristik Marshall.
3. Dari nilai-nilai karateristik Marshall yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan penggunaan bahan tambah material

alternatif serbuk ban sebagai campuran agregat halus untuk panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) . Dan secara umum nilai karakteristik serbuk ban memenuhi spesifikasi Depkimpraswil 2002, maka serbuk ban bisa dijadikan bahan tambah material alternatif sebagai campuran agregat halus untuk panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) kinerja perkerasan jalan.

6.2 Saran

1. Bahan material alternatif perlu diteliti lanjut mengenai uji kelekatan terhadap aspal dan uji kandungan kimianya, sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik campuran menggunakan serbuk ban lebih bisa diketahui secara detail.
2. Untuk memperbanyak variasi penggunaan jenis bahan pengganti material alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) sehingga dengan harapan mampu diaplikasikan dilapangan.