

SKRIPSI

PENGARUH PENAMBAHAN SERPIHAN PLASTIK POLYPROPYLENE (PP) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED SHEET* *WEARING COURSE* (HRS-WC)



Disusun Oleh :

YOHANES HADI PUTRANTO (0721063)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

1871110

REPUBLIC OF INDONESIA
DEPARTMENT OF THE ARMY
HEADQUARTERS OF THE ARMY
JAYAWALUYA

(1871110)

ARMY HEADQUARTERS (1871110)

REPUBLIC OF INDONESIA
DEPARTMENT OF THE ARMY
HEADQUARTERS OF THE ARMY
JAYAWALUYA

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN SERPIHAN PLASTIK
POLYPROPYLENE (PP) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL
TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE*
(HRS-WC)**

Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

Sarjana Teknik Sipil S-1

Institut Teknologi Nasional Malang

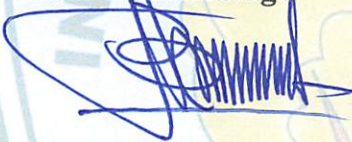
Disusun Oleh :

YOHANES HADI PUTRANTO

07.21.063

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



(Ir. Bambang Wedyantadji, MT.)

Dosen Pembimbing II



(Ir. Agus Prajitno, MT.)

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2014

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN SERPIHAN PLASTIK *POLYPROPYLENE*
(PP) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KINERJA *HOT
ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)***

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang

Strata Satu (S-1)

Pada Hari : Jum'at

Tanggal : 24 Januari 2014

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

Disusun Oleh :

YOHANES HADI PUTRANTO

07.21.063

Disahkan Oleh:

Ketua

Sekretaris


Ir. A. Agus Santosa, MT


Lila Ayu Ratna Winanda ST, MT

Anggota Penguji:

Penguji I

Penguji II


Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT.


Ir. Togi H. Nainggolan, MS

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : **YOHANES HADI PUTRANTO**
NIM : **07.21.063**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir / Skripsi saya yang berjudul :

**“PENGARUH PENAMBAHAN SERPIHAN PLASTIK *POLYPROPYLENE* (PP)
SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED
SHEET WEARING COURSE* (HRS-WC)”**

Adalah hasil karya sendiri, dan bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur seluruhnya dari hasil karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Malang, Februari 2014

Yang membuat pernyataan,



YOHANES HADI PUTRANTO

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas segala berkat dan karunia Tuhan Yesus Kristus, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul : ***“Pengaruh Penambahan Serpihan Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Bahan Substitusi Aspal Terhadap Kinerja Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)”*** yang merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil S-1 di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Sehubungan dengan hal tersebut dalam kesempatan ini saya menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1.
4. Ibu Lila Ayu Ratna W., ST, MT selaku Sekertaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
5. Bapak Ir. Bambang Wedyantadji, MT selaku Koordinator Bidang Struktur serta Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Ir. Agus Prajitno, MT selaku Dosen Pembimbing II.
7. Orang tua serta keluarga tercinta yang senantiasa membantu serta memberi dukungan material dan spiritual.
8. Rekan-rekan Teknik Sipil S-1 yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan, akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Januari 2014

Penyusun

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN SERPIHAN PLASTIK *POLYPROPYLENE* (PP) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE* (HRS-WC). Oleh : Yohanes Hadi Putranto,0721063, Program studi teknik sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang. Dosen : (I) Ir. Bambang Wedyantadji, MT., (II) Ir. Agus Prajitno, MT.

Campuran dengan pengikat aspal sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat volumenya. Banyak penelitian dan percobaan yang telah dilakukan untuk menaikkan mutu campuran beraspal, salah satunya dengan menambahkan plastik (polimer).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*, mengetahui kelayakan dari segi kekuatannya serta mengetahui prosentase optimum serpihan plastik *Polypropylene* (PP). Agregat kasar yang digunakan berasal dari Krisik, Wlingi, agregat halus dari Lumajang, filler menggunakan semen gresik dan aspal yang digunakan adalah aspal pertamina pen 60/70.

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk benda eksperimen guna kemudian dianalisis secara statistik, dipakai untuk menguji hipotesis, sehingga didapatkan suatu kesimpulan akhir.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal berpengaruh terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC) dimana hasil uji Fisher diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel}$. Plastik *Polypropylene* (PP) layak digunakan sebagai bahan substitusi aspal dengan parameter stabilitas yang meningkat sebesar 15,71% pada kondisi kadar substitusi serpihan plastik optimum sebesar 1,81% dari berat aspal yang digunakan.

Kata kunci : Substitusi Aspal dengan Plastik *Polypropylene*.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GRAFIK	xxiv
DAFTAR GAMBAR	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Hipotesis Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Perkerasan Jalan	8
2.2. Durabilitas.....	12

2.2.1. Metode Uji Durabilitas.....	12
2.2.2. Indeks Durabilitas (Keawetan).....	13
2.3. Lapisan Perkerasan.....	15
2.4. Metode Perencanaan Campuran.....	24
2.4.1. Rancangan Campuran Agregat Dengan Metode Grafis.	25
2.4.2. Kadar Aspal Total Dalam Campuran.....	27
2.5. Parameter Marshall.....	28
2.5.1. Metode Marshall.....	29
2.5.2. Pemeriksaan Nilai Stabilitas dan Flow.....	31
2.5.3. Volume Pori Benda Uji (VIM).....	33
2.5.4. Volume Antar Agregat dalam Benda Uji (VMA).....	33
2.5.5. Kousien Marshall.....	34
2.6. Pengujian Interval Kepercayaan.....	35
2.7. Pengujian Hipotesis.....	36
2.8. Pengujian Regresi.....	39
2.9. Tes Perendaman (Immersion Testing).....	40
2.10. Penelitian Terdahulu.....	41
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
3.1. Pelaksanaan Penelitian.....	44
3.2. Rancangan Penelitian.....	44
3.2.1. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal.....	44
3.2.2. Pembuatan Campuran Aspal Dengan Substitusi Serpihan Plastik <i>Polypropylene</i> (PP).....	45

3.3. Populasi Sampel.....	46
3.4. Pengumpulan Data.....	49
3.5. Bahan-Bahan yang Digunakan.....	49
3.6. Pengujian Agregat dan Aspal.....	50
3.6.1. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan...	50
3.6.1.1. Maksud.....	50
3.6.1.2. Peralatan.....	50
3.6.1.3. Benda Uji.....	52
3.6.1.4. Prosedur Pelaksanaan.....	52
3.6.1.5. Perhitungan.....	53
3.6.2. Pengujian Indeks Kepipihan.....	54
3.6.2.1. Maksud.....	54
3.6.2.2. Peralatan.....	54
3.6.2.3. Benda Uji.....	55
3.6.2.4. Prosedur Pelaksanaan.....	56
3.6.2.5. Perhitungan.....	57
3.6.3. Penentuan Angka Angularitas.....	58
3.6.3.1. Maksud.....	58
3.6.3.2. Peralatan.....	58
3.6.3.3. Benda Uji.....	59
3.6.3.4. Prosedur Pelaksanaan.....	60
3.6.3.5. Perhitungan.....	61
3.6.4. Pengujian Berat Isi Agregat.....	61

3.6.4.1. Maksud.....	61
3.6.4.2. Peralatan.....	61
3.6.4.3. Benda Uji.....	62
3.6.4.4. Prosedur Pelaksanaan.....	62
3.6.4.5. Perhitungan.....	64
3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar.....	64
3.6.5.1. Maksud.....	64
3.6.5.2. Peralatan.....	64
3.6.5.3. Benda Uji.....	65
3.6.5.4. Prosedur Penelitian.....	67
3.6.5.5. Perhitungan.....	67
3.6.6. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	68
3.6.6.1. Maksud.....	68
3.6.6.2. Peralatan.....	68
3.6.6.3. Benda Uji.....	69
3.6.6.4. Prosedur Pelaksanaan.....	70
3.6.6.5. Perhitungan.....	71
3.6.7. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	72
3.6.7.1. Maksud.....	72
3.6.7.2. Peralatan.....	73
3.6.7.3. Benda Uji.....	73
3.6.7.4. Prosedur Pelaksanaan.....	74
3.6.7.5. Perhitungan	74

3.6.8. Pengujian Keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles.....	75
3.6.8.1. Maksud.....	75
3.6.8.2. Peralatan.....	75
3.6.8.3. Benda Uji.....	76
3.6.8.4. Prosedur Pelaksanaan.....	77
3.6.8.5. Perhitungan.....	77
3.6.9. Pemeriksaan Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen.....	77
3.6.9.1. Maksud.....	77
3.6.9.2. Peralatan.....	78
3.6.9.3. Benda Uji.....	79
3.6.9.4. Prosedur Pelaksanaan.....	80
3.6.9.5. Perhitungan.....	81
3.6.10. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar.....	82
3.6.10.1. Maksud	82
3.6.10.2. Peralatan.....	82
3.6.10.3. Benda Uji.....	83
3.6.10.4. Prosedur Pelaksanaan.....	83
3.6.10.5. Perhitungan.....	84
3.6.11. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal dan Ter.....	85
3.6.11.1. Maksud.....	85
3.6.11.2. Peralatan.....	85
3.6.11.3. Benda Uji.....	86
3.6.11.4. Prosedur Pelaksanaan.....	87

3.6.12. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen.....	88
3.6.12.1. Maksud.....	88
3.6.12.2. Peralatan.....	88
3.6.12.3. Benda Uji.....	89
3.6.12.4. Prosedur Pelaksanaan.....	89
3.6.13. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter....	90
3.6.13.1. Maksud.....	90
3.6.13.2. Peralatan.....	90
3.6.13.3. Benda Uji.....	91
3.6.13.4. Prosedur Pelaksanaan.....	91
3.6.13.5. Perhitungan.....	92
3.6.14. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal...	93
3.6.14.1. Maksud.....	93
3.6.14.2. Peralatan.....	93
3.6.14.3. Benda Uji.....	94
3.6.14.4. Prosedur Pelaksanaan.....	94
3.6.14.5. Perhitungan.....	95
3.6.15. Perhitungan Prosentase Agregat dengan Metode Grafis	95
3.6.16. Pembuatan Sampel dan Pengujian Sampel.....	96
3.7. Bagan Alir Penelitian.....	102

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA KADAR ASPAL

OPTIMUM.....	104
4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat.....	104
4.1.1. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan.	104
4.1.1.1. Tabel Perhitungan.....	104
4.1.1.2. Hasil Pengujian.....	105
4.1.2. Pengujian Indeks Kepipihan (Flakiness Index).....	106
4.1.2.1. Tabel Perhitungan.....	106
4.1.2.2. Hasil Pengujian.....	107
4.1.3. Penentuan Angka Angularitas (Angularity Number).	107
4.1.3.1. Tabel Perhitungan.....	107
4.1.3.2. Hasil Pengujian.....	108
4.1.4. Pengujian Berat Isi Agregat.....	108
4.1.4.1. Tabel Perhitungan	108
4.1.4.2. Hasil Pengujian.....	109
4.1.5. Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar.....	109
4.1.5.1. Tabel Perhitungan.....	109
4.1.5.2. Hasil Pengujian.....	113
4.1.6. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	113
4.1.6.1. Tabel Perhitungan.....	113
4.1.6.2. Hasil Pengujian.....	114
4.1.7. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	115
4.1.7.1. Hasil Penelitian.....	115

4.1.7.2. Hasil Pengujian.....	116
4.1.8. Pengujian Keausan Agregat Dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles.....	117
4.1.8.1. Tabel Perhitungan.....	117
4.1.8.2. Hasil Pengujian.....	118
4.2. Hasil Pemeriksaan Aspal.....	118
4.2.1. Pemeriksaan Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen.....	118
4.2.1.1. Tabel Perhitungan.....	118
4.2.1.2. Hasil Pengujian.....	118
4.2.2. Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar.....	119
4.2.2.1. Tabel Perhitungan.....	119
4.2.2.1. Hasil Pengujian.....	119
4.2.3. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Dan Ter.....	120
4.2.3.1. Tabel Pengujian.....	120
4.2.3.2. Hasil Pengujian.....	121
4.2.4. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen.....	121
4.2.4.1. Tabel Pengujian.....	121
4.2.4.2. Hasil Penelitian.....	121
4.2.5. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter....	122
4.2.5.1. Tabel Perhitungan.....	122
4.2.5.2. Hasil Pengujian.....	123
4.2.6. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak Dan Aspal...	123

4.2.6.1. Tabel Perhitungan.....	123
4.2.6.2. Hasil Pengujian.....	124
4.3. Perencanaan Komposisi Campuran.....	124
4.3.1. Perhitungan Prosentase Agregat dengan Metode Grafis.....	124
4.3.2. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal.....	127
4.3.3. Perhitungan Berat Agregat.....	128
4.4. Marshall Test.....	129
4.4.1. Hasil Pengujian.....	129
4.4.2. Data Hasil Pengujian Marshall.....	130
4.5. Pengujian Interval Kepercayaan.....	145
4.5.1. Perhitungan Indeks Perendaman.....	156
4.5.2. Cara Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	157

BAB V ANALISA ASPAL SUBSTITUSI PLASTIK DAN

PEMBAHASAN.....	165
5.1. Marshall Test.....	165
5.1.1. Data Hasil Pengujian Marshall.....	165
5.2. Pengujian Interval Kepercayaan.....	183
5.2.1. Perhitungan Indeks Perendaman	194
5.2.2. Analisa Kadar Campuran Plastik Optimum.....	195
5.3. Pembahasan.....	210
5.3.1. Pengujian Hipotesis.....	210
5.3.2. Analisa Regresi.....	214

5.3.3. Pembahasan.....	216
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	228
6.1. Kesimpulan.....	228
6.2. Saran.....	228
DAFTAR PUSTAKA.....	230
LAMPIRAN.....	231

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Sifat Campuran Beton Aspal Lataston WC (HRS-WC).....	16
Tabel 2.2. Spesifikasi Agregat Untuk Beton Aspal.....	19
Tabel 2.3. Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Berbagai Jenis Beton Aspal.....	20
Tabel 2.4. Sifat Aspal Untuk Campuran Beton Aspal.....	24
Tabel 2.5. Angka Koreksi Akibat Variasi Ketinggian Benda Uji.....	32
Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum.....	46
Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji dengan Subtitusi Serpihan Plastik PP.....	47
Tabel 3.3. Ukuran Agregat Standar dan Non Standar yang Dapat Digunakan dengan Dasar Ukuran Saringan dari British Standard	51
Tabel 3.4. Berat Minimum Benda Uji.....	55
Tabel 3.5. Data untuk Menentukan Indeks Kepipihan.....	56
Tabel 3.6. Data untuk Menentukan Angka Angularitas.....	59
Tabel 3.7. Data Silinder untuk Berat Isi.....	62
Tabel 3.8. Daftar Saringan yang Digunakan untuk Analisa.....	65
Tabel 3.9. Berat Minimum Benda Uji Agregat Halus.....	65
Tabel 3.10. Berat Minimum Benda Uji Agregat Kasar.....	66
Tabel 3.11. Daftar Berat dan Gradasi Benda Uji.....	76
Tabel 3.12. Ukuran Cawan Penetrasi.....	78
Tabel 3.13. Toleransi untuk Hasil Penetrasi.....	81
Tabel 3.14. Toleransi untuk Hasil Titik Nyala dan Titik Bakar.....	85
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan.....	104

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Indeks Kepipihan.....	106
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Angka Angularitas.....	107
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Berat Isi Agregat.....	108
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	110
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang.....	111
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	112
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus....	113
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar...	115
Tabel 4.10. Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles	117
Tabel 4.11. Hasil Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen Sebelum Kehilangan Berat.....	118
Tabel 4.12. Hasil Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen Setelah Kehilangan Berat	118
Tabel 4.13. Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.....	119
Tabel 4.14. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Sebelum Kehilangan Berat.....	120
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Setelah Kehilangan Berat.....	120
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat.....	121
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat.....	121
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.....	122
Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal.....	123
Tabel 4.20. Rekapitulasi Pengujian Agregat.....	124
Tabel 4.21. Rekapitulasi Pengujian Aspal.....	124

Tabel 4.22. Gradasi Agregat.....	128
Tabel 4.23. Perhitungan Berat Agregat Setiap Variasi Kadar Aspal.....	128
Tabel 4.24. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	135
Tabel 4.25. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	136
Tabel 4.26. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	137
Tabel 4.27. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	138
Tabel 4.28. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 8% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	139
Tabel 4.29. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C.....	140
Tabel 4.30. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C.....	141
Tabel 4.31. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C.....	142
Tabel 4.32. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C.....	143
Tabel 4.33. Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 8% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C.....	144
Tabel 4.34. Data Stabilitas(Perendaman 30 menit).....	145

Tabel 4.35. Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 30 Menit).	147
Tabel 4.36. Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	147
Tabel 4.37. Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 30 Menit).....	147
Tabel 4.38. Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	148
Tabel 4.39. Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 30 Menit).....	148
Tabel 4.40. Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	149
Tabel 4.41. Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 30 Menit).....	149
Tabel 4.42. Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	150
Tabel 4.43. Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 30 menit).....	150
Tabel 4.44. Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	151
Tabel 4.45. Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 24 jam)....	151
Tabel 4.46. Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	152
Tabel 4.47. Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 24 jam).....	152
Tabel 4.48. Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	153
Tabel 4.49. Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 24 jam).....	153
Tabel 4.50. Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	154
Tabel 4.51. Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 24 jam).....	154
Tabel 4.52. Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	155

Tabel 4.53. Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	155
Tabel 4.54. Validasi Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	156
Tabel 4.55. Data Indeks Perendaman.....	157
Tabel 5.1. Prosentase Subtitusi Plastik dan Berat Jenis Aspal Dengan Subtitusi Plastik.....	166
Tabel 5.2. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 0% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	171
Tabel 5.3. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 1,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	172
Tabel 5.4. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	173
Tabel 5.5. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	174
Tabel 5.6. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	175
Tabel 5.7. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C.....	176
Tabel 5.8. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 0% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	177
Tabel 5.9. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 1,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	178
Tabel 5.10. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	179

Tabel 5.11. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	180
Tabel 5.12. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	181
Tabel 5.13. Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C.....	182
Tabel 5.14. Data Stabilitas (Perendaman 30 menit).....	183
Tabel 5.15. Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 30 menit).	185
Tabel 5.16. Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	185
Tabel 5.17. Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 30 menit).....	186
Tabel 5.18. Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	186
Tabel 5.19. Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 30 menit).....	187
Tabel 5.20. Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	187
Tabel 5.21. Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 30 menit).....	188
Tabel 5.22. Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	188
Tabel 5.23. Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 30 menit).....	189
Tabel 5.24. Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit).....	189
Tabel 5.25. Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 24 jam)....	190
Tabel 5.26. Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	190
Tabel 5.27. Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 24 jam).....	191

Tabel 5.28. Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	191
Tabel 5.29. Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 24 jam).....	192
Tabel 5.30. Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	192
Tabel 5.31. Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 24 jam).....	193
Tabel 5.32. Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam).....	193
Tabel 5.33. Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	194
Tabel 5.34. Validasi Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	194
Tabel 5.35. Data Indeks Perendaman.....	195
Tabel 5.36. Data Stabilitas Dengan Variasi Substitusi Kadar Plastik <i>Polypropylene</i> (30 menit).....	211
Tabel 5.37. Tabel Analisa Varian Untuk Stabilitas.....	213
Tabel 5.38. Analisa Statistik Untuk Seluruh Pengamatan.....	214
Tabel 5.39. Daftar Nilai Stabilitas Yang Perlu Untuk Menentukan Regresi	215

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 2.1. Contoh Rancangan Campuran Agregat Dengan Metode Grafis.	27
Grafik 2.2. Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas.....	31
Grafik 2.3. Hubungan antara kadar aspal dengan kelelahan (flow).....	32
Grafik 2.4. Hubungan antara kadar aspal dengan VIM%.....	33
Grafik 2.5. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA.....	34
Grafik 2.6. Hubungan antara kadar aspal dengan MQ.....	35
Grafik 4.1. Pencampuran 3 Fraksi agregat dengan metode Rotchluchs tipe A.	126
Grafik 4.2. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 menit).....	158
Grafik 4.3. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 jam).....	158
Grafik 4.4. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 30 menit).....	159
Grafik 4.5. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 jam).....	159
Grafik 4.6. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 30 menit).....	160
Grafik 4.7. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 jam).....	160
Grafik 4.8. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 30 menit).....	161
Grafik 4.9. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 24 jam).....	161
Grafik 4.10. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 30 menit).....	162

Grafik 4.11. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	162
Grafik 4.12. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Indeks Perendaman (IP).....	163
Grafik 4.13. Diagram Batang Mencari Kadar Aspal Optimum.....	163
Grafik 5.1. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas (Perendaman 30 menit).....	196
Grafik 5.2. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas (Perendaman 24 jam).....	196
Grafik 5.3. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow (Perendaman 30 menit).....	197
Grafik 5.4. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow (Perendaman 24 jam).....	197
Grafik 5.5. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM (Perendaman 30 menit).....	198
Grafik 5.6. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM (Perendaman 24 jam).....	198
Grafik 5.7. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA (Perendaman 30 menit).....	199
Grafik 5.8. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA (Perendaman 24 jam).....	199
Grafik 5.9. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient (Perendaman 30 menit).....	200
Grafik 5.10. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	200
Grafik 5.11. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Indeks Perendaman (IP).....	201
Grafik 5.12. Diagram Batang Hubungan Kadar Plastik Dengan Parameter Marshall.....	202
Grafik 5.13. Nilai Optimum Stabilitas (Perendaman 24 jam).....	203

Grafik 5.14. Nilai Optimum Stabilitas (Perendaman 30 menit).....	204
Grafik 5.15. Nilai Optimum Flow (Perendaman 24 jam).....	204
Grafik 5.16. Nilai Optimum Flow (Perendaman 30 menit).....	205
Grafik 5.17. Nilai Optimum VIM (Perendaman 24 jam).....	206
Grafik 5.18. Nilai Optimum VIM (Perendaman 30 menit).....	206
Grafik 5.19. Nilai Optimum VMA (Perendaman 24 jam).....	207
Grafik 5.20. Nilai Optimum VMA (Perendaman 30 menit).....	208
Grafik 5.21. Nilai Optimum Marshall Quotient (Perendaman 24 jam).....	208
Grafik 5.22. Nilai Optimum Marshall Quotient (Perendaman 30 menit)....	209
Grafik 5.23. Nilai Optimum IP.....	210
Grafik 5.24. Hubungan Antara Subtitusi Plastik <i>Polypropylene</i> Dengan Stabilitas.....	217
Grafik 5.25. Hubungan Antara Subtitusi Plastik Dengan Flow.....	219
Grafik 5.26. Hubungan Antara Kadar Subtitusi Plastik Dengan VIM.....	221
Grafik 5.27. Hubungan Antara Kadar Subtitusi Plastik Dengan VMA.....	222
Grafik 5.28. Hubungan Antara Kadar Subtitusi Plastik Dengan MQ.....	224
Grafik 5.29. Hubungan Antara Kadar Subtitusi Plastik Dengan IP.....	226

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Susunan Lapisan Perkerasan Jalan.....	17
Gambar 2.2. Plastik Jenis <i>Polypropylene</i>	21
Gambar 3.1. Bentuk benda uji.....	46
Gambar 3.2. Detail Mesin Impact Aggregate.....	50
Gambar 3.3. Alat Pengukur Kepipihan.....	54
Gambar 3.4. Aparatus Pemeriksaan Berat Isi Agregat.....	62
Gambar 3.5. Aparatus Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar.....	67
Gambar 3.6. Aparatus Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus.....	69
Gambar 3.7. Aparatus Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar.....	73
Gambar 3.8. Alat Penetrasi.....	80
Gambar 3.9. Alat Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar.....	83
Gambar 3.10. Pemeriksaan Titik Lembek.....	87
Gambar 3.11. Mesin Pengukur dan Cetakan Daktilitas.....	88
Gambar 3.12. Pemeriksaan Berat Jenis dan Ter.....	91
Gambar 3.13. Aparatus Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal.	93
Gambar 3.14. Agregat Kasar, Sedang, Halus Serta Bahan Filler.....	96
Gambar 3.15. Penimbangan Agregat Kasar, Sedang, Halus Serta Filler....	97
Gambar 3.16. Pemanasan dan Pengukuran Suhu Aspal.....	97
Gambar 3.17. Pemanasan Agregat, Penambahan Aspal dan Pencampuran Agregat dengan Aspal.....	98
Gambar 3.18. Pencetakan Sampel dan Penumbukan Sampel.....	99
Gambar 3.19. Pendinginan dan Pengukuran Sampel.....	99

Gambar 3.20. Penimbangan Berat Sampel dan Perendaman Sampel.....	100
Gambar 3.21. Penimbangan Berat Sampel Dalam Air dan SSD.....	100
Gambar 3.22. Perendaman Sampel Dalam Waterbath dengan Suhu 60°C..	101
Gambar 3.23. Pengujian Sampel dengan Alat Tes Marshall.....	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Campuran beraspal sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat volumenya. Hal ini disebabkan campuran beraspal mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, diantaranya harganya yang relatif lebih murah dibanding beton, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca.

Peningkatan jumlah penduduk saat ini juga meningkatkan polusi yang terjadi, salah satunya adalah polusi tanah. Plastik merupakan polimer yang lentur. Sekali diciptakan maka plastik akan tetap ada dalam waktu yang sangat lama. Peningkatan jumlah penduduk tentunya meningkatkan pula penggunaan bahan plastik dalam kehidupan sehari-hari. Konsumsi plastik di Indonesia pada tahun 2011 mencapai 2,8 juta ton dan pada tahun 2012 ledih dari 3 juta ton (<http://www.suarapembaruan.com/ekonomidanbisnis/tingkat-konsumsi-plastik-tahun-ini-dapat-tembus-3-juta-ton/18909>). *Polypropylene* merupakan plastik polimer yang mudah dibentuk ketika panas. Plastik jenis ini banyak digunakan untuk tempat makanan, gelas minuman atau tutup botol sabun atau shampo.

Menurut Tjitjik Waslah Suroso (*Jurnal Pusat Penelitian Dan Pengembangan Jalan Dan Jembatan "Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Cara Basah Dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal, untuk menaikkan mutu campuran beraspal"*2008), salah satunya dengan menambahkan plastik yang dalam istilah kimianya disebut polimer. Umumnya plastik berbentuk pelet sehingga untuk mencampur dengan aspal diperlukan tambahan alat. Peralatan ini tidak selalu tersedia di setiap kota atau Unit Pencampur Aspal. Oleh karena itu perlu dicari solusinya yaitu bagaimana menambahkan polimer tanpa tambahan peralatan. Penambahan polimer untuk menaikkan mutu campuran beraspal ada dua cara, yaitu cara basah (wet process) dimana plastik ditambahkan kedalam aspal panas dan dicampur hingga homogen dan cara kering dimana plastik ditambahkan kedalam agregat panas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh kedua cara pencampuran plastik mutu rendah jenis LDPE terhadap kinerja campuran beraspal pada kadar aspal optimum, yang sama dengan kadar aspal optimum hasil pengujian Marshall aspal pen 60 sebagai pembanding (balnko), sedangkan kadar plastik adalah 3,5% terhadap berat aspal yang diambil dari hasil pengujian variasi kadar plastik terhadap mutu aspal yang telah dimodifikasi dengan plastik (cara basah). Pada cara kering plastik dengan kadar sama dengan cara basah ditambahkan kedalam agregat panas (pada temperatur campuran) dan diaduk selama 30-45 detik. Dari hasil yang diperoleh di laboratorium menunjukkan cara kering menghasilkan karakteristik Marshall, Stabilitas Dinamis dan Resilien Modulus lebih besar dari aspal pen 60, namun lebih rendah dari cara basah. Dari

segi ekonomi cara kering diperkirakan lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak memerlukan alat pengaduk (mixer) dan lebih mudah di handle dari pada cara basah.

Berdasarkan Zulfiani.AR (*Jurnal Tugas Akhir "Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC) Terhadap Pengaruh Plastik Sebagai Bahan Substitusi Aspal"* 2012), penambahan serpihan plastik pada aspal beton (AC-WC) dengan menggunakan aspal minyak penetrasi 60/70 dapat menghemat penggunaan aspal sebesar 2,5% terhadap berat aspal. Selain itu penambahan serpihan sampah plastik dapat meningkatkan stabilitas, menurunkan nilai Flow, meningkatkan nilai Marshal Quotient (MQ), menurunkan nilai VIM, menurunkan nilai VMA, dan meningkatkan nilai VFB.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini memfokuskan materinya terhadap pengaruh penambahan serpihan *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka perlu dibuat suatu perumusan masalah.

Adapun perumusan masalah yang penulis kemukakan adalah sebagai berikut:

- a. Apakah penambahan serpihan *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal berpengaruh terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC)?
- b. Apakah penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) layak digunakan sebagai bahan substitusi aspal ditinjau dari segi kekuatannya?

- c. Berapa kadar optimum penambahan serpihan *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*.
- b. Untuk mengetahui kelayakan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal ditinjau dari segi kekuatannya.
- c. Mengetahui prosentase optimum serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas penelitian ini agar lebih mengarah kepada pembahasannya, maka perlu adanya batasan-batasan masalah antara lain:

- a. Penelitian ini membahas pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*.

- b. Penelitian ini menganalisa kelayakan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal ditinjau dari segi kekuatannya.
- c. Penelitian ini menganalisa prosentase optimum serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal.
- d. Hasil penelitian ini berlaku untuk kondisi agregat kasar dari Krisik, agregat halus dari Lumajang dan semen gresik sebagai filler.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Untuk peneliti
 - Memberikan informasi dasar untuk penelitian selanjutnya.
- b. Manfaat praktis
 - Memberikan informasi tentang pengaruh dan kadar optimum penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*.

1.6 Hipotesis Penelitian

- a. Hipotesis Nol (H_0)

Tidak ada perbedaan nilai karakteristik Marshall karena pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*.

b. Hipotesis Alternatif (H_a)

Ada perbedaan nilai karakteristik Marshall karena pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*, dengan perincian sebagai berikut :

$$1. H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_a = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

μ = Parameter Marshall

1 = pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP)
1,5%.

2 = pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP)
2,0%.

3 = pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP)
2,5%.

4 = pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP)
3,0%.

5 = pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP)
3,5%.

$$2. H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a = \mu_1 \neq \mu_2$$

1 = Penambahan serpihan plastik sebagai bahan substitusi.

2 = Tanpa penambahan serpihan plastik sebagai bahan substitusi.

μ = Parameter Marshall.

H_{01} = Tidak ada perbedaan nilai karakteristik Marshall pada campuran dengan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal yang direndam air selama 30 menit.

H_{a1} = Ada perbedaan nilai karakteristik Marshall pada campuran dengan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal yang direndam air selama 30 menit.

H_{02} = Tidak ada perbedaan nilai karakteristik Marshall pada campuran dengan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal yang direndam air selama 1 hari.

H_{a2} = Ada perbedaan nilai karakteristik Marshall pada campuran dengan penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal dan tanpa penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal yang direndam air selama 1 hari.

Dari uraian diatas diajukan hipotesis sebagai berikut : Ada pengaruh perbedaan nilai karakteristik Marshall karena pengaruh penambahan serpihan plastik *Polypropylene* (PP) sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja *Hot Rolled Sheet Wearing Course*.





ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՆՏ
ՎԵՐՈՒՄ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒՄ

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis. Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Di bawahnya terdapat lapisan pondasi, yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan.

Material utama pembentuk lapisan perkerasan jalan adalah agregat yaitu 90-95% dari berat campuran perkerasan. Daya dukung lapisan perkerasan ditentukan dari sifat butir-butir agregat, dan gradasi agregatnya. Bahan pengikat seperti aspal dan semen dipergunakan sebagai bahan pengikat agregat agar terbentuk perkerasan kedap air.

Perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat disebut perkerasan lentur, dan perkerasan dengan mempergunakan semen sebagai bahan pengikat disebut perkerasan kaku. Lapisan perkerasan menggabungkan perkerasan kaku dan perkerasan lentur dinamakan perkerasan komposit.

Untuk mendapatkan perkerasan jalan yang memenuhi mutu yang diharapkan, maka perlu pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan agregat. Disamping itu, pengetahuan tentang sifat bahan pengikat seperti aspal dan semen menjadi dasar untuk merancang campuran sesuai jenis perkerasan yang diinginkan. Kendali mutu proses pelaksanaan perkerasan merupakan hal yang tak terpisahkan untuk dapat mencapai mutu yang diharapkan (*Silvia Sukirman, 2003 : hal xvi*).

Di Indonesia umumnya digunakan perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Dalam memenuhi kriteria campuran perkerasan lentur yang baik, maka dalam merancang campuran perkerasan lentur perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut, yaitu : stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, *fatigue resistance*, *skid resistance*, impermeabilitas, dan *workability*.

a. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

b. Durabilitas

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara didalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitasnya menurun.

c. Fleksibilitas

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas

dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

d. *Fatigue Resistance*

Fatigue resistance (ketahanan terhadap kelelahan) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

e. *Skid Resistance*

Skid resistance (kekesatan/tahanan geser) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

f. Impermeabilitas

Impermeabilitas (kedap air) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan

pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedekatan air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

g. *Workability*

Workability (mudah dilaksanakan) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika kesukaran dalam pelaksanaan.

2.2. Durabilitas

Semua jenis lapisan perkerasan aspal akan berubah menurut waktu sebagai akibat adanya pengaruh cuaca, beban lalu lintas dan bahan-bahan yang dapat mempengaruhi perubahan struktur aspal. Derajat dan efek perubahan yang terjadi pada lapisan perkerasan itu sangat bervariasi, tergantung pada jenis perkerasan, tipe perkerasan dan jenis aspal.

2.2.1. Metode Uji Durabilitas

Uji durabilitas direncanakan untuk melakukan pengujian terhadap pengaruh substitusi plastik dengan memperhatikan tingkah laku pada material

perkerasan dengan campuran terkontrol. Percobaan yang menyeluruh pada material yang dicampur akan memperlihatkan kinerja yang terjadi pada Lataston, dengan membandingkan hasil lapangan pengujian dapat dinyatakan valid.

2.2.2 Indeks Durabilitas (Keawetan)

Metode yang paling praktis dan sering digunakan untuk mengevaluasi potensi keawetan campuran beraspal adalah dengan melakukan perendaman benda uji pada air dengan suhu dan waktu tertentu Metode standar (Uji Perendaman Marshall), benda uji yang diuji Marshall setelah direndam selama 1 hari didalam bak perendaman pada suhu 60⁰ C. beberapa peneliti melakukan penelitian tingkat keawetan dengan melakukan pengujian dengan durasi perendaman yang lebih lama. CRAUS, dkk (1981) menyatakan bahwa kriteria perendaman 1 hari tidak selalu mencerminkan sifat keawetan dari campuran setelah beberapa waktu masa perendaman. Untuk itu diusulkan bahwa indeks keawetan harus memenuhi beberapa kriteria seperti cukup rasional, menggambarkan ketahanan dan potensi keawetan untuk suatu rentang masa perendaman dan dapat memberikan gambaran perbedaan perubahan dalam rentang masa perendaman dalam suatu kurva keawetan. Dalam penelitian tersebut dikenalkan juga dua macam indeks keawetan, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua yang diharapkan dapat memenuhi kriteria tersebut.

a. Indeks keawetan pertama

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah dari kelandaian-kelandaian secara berurutan dari kurva keawetan. Indeks (r) ini dihitung berdasarkan rumus

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(S_i - S_{i+1})}{(t_{i+1} - t_i)} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana : S_i = persen kekuatan yang tertahan pada waktu t_i .

S_{i+1} = persen kekuatan yang tertahan pada waktu t_{i+1} .

t_i, t_{i+1} = waktu perendaman (mulai dari awal pengujian).

b. Indeks keawetan kedua

Indeks ini didefinisikan sebagai daerah kehilangan kekuatan rata-rata meliputi antara kurva keawetan dan garis $S_0 = 100\%$. Indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_a} \sum a_i = \frac{1}{t_a} \sum (S_i - S_{i+1}) \cdot [2t_a - (t_i + t_{i+1})] \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

S_{i+1} = persen kekuatan yang tertahan pada waktu t_{i+1} .

S_i = persen kekuatan yang tertahan pada waktu t_i .

$t_i + t_{i+1}$ = waktu perendaman (mulai dari awal pengujian).

Dari persamaan diatas, dapat diturunkan bentuk persamaan baru untuk pengujian yang menggunakan waktu perendaman 1 hari.

Sehingga persamaan menjadi :

$$S_a = (100 - a) \dots \dots \dots (3)$$

Artinya, jika nilai (a) yang didapat positif, maka penurunan stabilitas (retained stability) akan terjadi. Sebaliknya jika harga (a) negatif, maka akan terjadi kenaikan stabilitas.

2.3 Lapisan Perkerasan

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Konstruksi perkerasan terdiri dari :

1. Lapisan permukaan (Surface Course), merupakan lapisan yang terletak paling atas. Jenis lapis permukaan yang umum dipergunakan di indonesia antara lain: Laston, Lataston, Latasir, Lapisan perata, dan SMA (Split Mastic Aspalt). Lapisan Tipis Aspal Beton (Lataston), adalah beton aspal bergradasi senjang. Laston dikenal juga dengan nama HRS (*Hot Rolled Sheet*). Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas. Sesuai fungsinya, lataston mempunyai 2 macam yaitu:
 - a) Lataston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama HRS-WC (*Hot Rolled Sheet- Wearing Course*). Tebal nominal minimum HRS-WC adalah 3 cm.
 - b) Lataston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama HRS-Base (*Hot Rolled Sheet - Base*). Tebal nominal minimum HRS-Base adalah 3,5 cm.

Tabel 2.1 Sifat campuran beton aspal Lataston WC (HRS-WC)

Sifat Campuran		Lataston WC	
Penyerapan aspal		maks	1,2 untuk Lalu Lintas (LL) \geq 1.000.000 .ESA
			1,7 untuk Lalu Lintas (LL) \leq 1.000.000 .ESA
Jumlah tumbukan/bidang			75
VIM (%)	LL \geq 1 juta ESA	min	-
		maks	-
	0,5 \leq ESA < 1 juta	min	4
		maks	6
	LL < 0,5 ESA	min	3
		maks	6
VMA (%)		min	18
VFA (%)	LL \geq 1 juta ESA	min	65
	0,5 \leq ESA < 1 juta	min	68
	LL < 0,5 ESA	min	75
Stabilitas Marshall (kg)		min	800
		maks	-
Kelelehan (mm)		min	2
		maks	-
Kuotien Marshall		min	200
Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60°C		min	85% untuk Lalu Lintas (LL) \geq 1.000.000 .ESA
			80% untuk Lalu Lintas (LL) \leq 1.000.000 .ESA
IM (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	LL \geq 1 juta ESA	min	-
		maks	-
	0,5 \leq ESA < 1 juta	min	2
		maks	2
	LL < 0,5 ESA	min	1
		maks	1

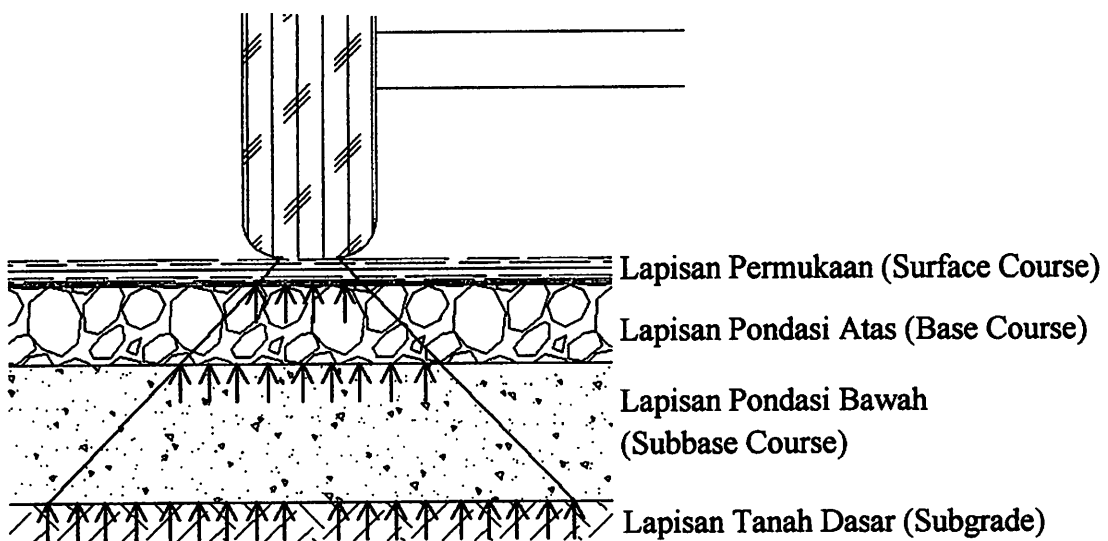
Sumber : Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman

2. Lapisan pondasi atas (Base Course), merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Fungsi dari lapisan ini adalah sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya, sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah, dan bantalan terhadap lapis permukaan.

Material yang digunakan harus memenuhi persyaratan $CBR > 50\%$ dan $PI < 4\%$. Contoh bahan yang dapat digunakan antara lain agregat (batu pecah) bergradasi baik, pondasi macadam, pondasi telford, dan stabilisasi agregat dengan semen, kapur atau aspal.

3. Lapisan pondasi bawah (Subbase Course), merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan ini adalah sebagai bagian perkerasan yang menyebarkan gaya lintang ke tanah dasar serta sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi. Material yang digunakan harus memenuhi persyaratan $CBR > 20\%$ dan $PI < 10\%$. Contoh lapisan perkerasan yang dapat digunakan antara lain agregat (sirtu) bergradasi baik, stabilisasi agregat dengan semen atau kapur, dan stabilisasi tanah dengan kapur atau semen.
4. Lapisan tanah dasar (Subgrade), merupakan lapisan tanah setebal 50-100 cm diatas mana akan diletakkan lapisan pondasi bawah.

Gambar 2.1 Susunan Lapisan Perkerasan Jalan



2.3.1. Material Campuran Aspal Beton

Material yang digunakan untuk pencampuran aspal beton, antara lain:

1. Agregat Kasar

Bentuk dari agregat sangat berpengaruh pada kemudahan campuran dipadatkan dan juga ketahanan terhadap stabilitas dan deformasi. Agregat dengan bentuk bulat akan memudahkan dalam pemadatan akan tetapi secara umum campurannya memiliki kestabilan yang rendah. Oleh sebab itu penggunaan agregat bulat ini dihindari untuk jenis perkerasan yang memiliki beban lalu lintas yang berat.

Agregat untuk lapisan permukaan harus memiliki ketahanan terhadap abrasi, pengujian terhadap abrasi ini dilakukan test Los Angeles Abrasion. Untuk lapisan permukaan sebaiknya memiliki tingkat abrasi lebih kecil dari 40%. Syarat spesifikasi untuk agregat kasar seperti pada tabel 2.2 dan tabel 2.3

2. Agregat Halus

Syarat umum ditetapkan sebagai material yang lolos saringan no.7 atau no.8 (ASTM) dan tertahan pada saringan no.200. materialnya bisa berasal dari alam seperti pasir atau hasil olahan pabrik seperti pasir atau hasil olahan pabrik seperti pecahan batu, slag atau grovel. Secara mekanis agregat halus sangat berpengaruh pada tingkat kestabilan dan ketahanan terhadap deformasi material, sehingga agregat halus harus memenuhi syarat-syarat antara lain partikel agregat halus mempunyai tekstur kasar, bersih, tajam, bebas dari lempung dan material yang

tidak diinginkan. Syarat spesifikasi untuk agregat halus seperti pada tabel 2.2 dan tabel 2.3

Tabel 2.2 Spesifikasi Agregat Untuk Beton Aspal

Jenis pemeriksaan	Satuan	Syarat minimum		Metode pemeriksaan	
		Fraksi agregat kasar	Fraksi agregat halus	SNI	AASHTO/ASTM
Ukuran butir (% lolos saringan N.8)	%	0	100		
Abrasi dengan mesin Los Angeles	%	Maks 40		SNI 03-2417-1991	T 96-87
Soundness terhadap larutan natrium atau magnesium sulfat	%	Maks 12		SNI 03-3407-1994	T 104-86
Kelekatan agregat terhadap aspal (<i>stripping</i>)	%	Min 95		SNI 03-2439-1991	T 182-84
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	Lalulintas <10 ⁶ ESA	%	85/80*	Min 40%	
	Lalulintas >10 ⁶ ESA	%	95/90*	Min 45%	
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)	Lalulintas <10 ⁶ ESA	%	60/50*	Min 40%	
	Lalulintas >10 ⁶ ESA	%	80/75*	Min 40%	
Indeks kepipihan agregat	%	maks 10			ASTM D-4791
Absorpsi air	%	maks 3	maks 3	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990	
Berat jenis semu	-	min 2,5	min 2,5	SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990	T 84 dan T 85-88
Partikel lolos saringan No. 200	%		maks 8	SNI-M-02-1994-03	T 11-90
Nilai <i>sand equivalent</i>	%		maks 40		T 104-86
AIV	%	Maks 30			
Kesenjangan	%	Maks 12	Maks 12		

Sumber : Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman

Tabel 2.3 Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Berbagai Jenis Beton Aspal.

Ukuran Saringan		% berat lolos						
		laston (AC)			Lataston (HRS)		Latasir	
No	Bukaan mm	AC-WC	AC-BC	AC-Base	HRS-WC	HRS-Base	Kelas A	Kelas B
1 1/2"	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	28-58	23-39	19-45	50-72	35-55		75-100
No. 16	1,18							
No. 30	0,6				35-60	15-35		
No. 200	0,075	4-10	4-8	3-7	6-12	2-9	10-15	8-13
Daerah Larangan								
No. 4	4,75	-	-	39,5				
No. 8	2,36	39,1	34,6	26,8-30,8				
No. 16	1,18	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1				
No. 30	0,6	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6				
No. 200	0,075	15,5	13,7	11,4				

Sumber : Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman

3. Material filler

Menurut Silvia Sukirman (2003:112) bahan pengisi (*filler*) dapat menggunakan debu batu kapur, semen portland, abu terbang, abu tanur semen atau material non plastis lainnya. Adapun persyaratan menjadi bahan pengisi adalah bagian yang lolos saringan No. 200 sama atau lebih banyak dari 75% terhadap beratnya. Adapun fungsi dari bahan pengisi ini adalah mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada dalam agregat itu sendiri.

4. Plastik *Polypropylene* (PP)

Polypropylene (PP), adalah plastik #5, diciptakan pada tahun 1957, merupakan alternatif yang murah pengganti polyethylene. Sebagian besar kemasan makanan kita terbuat dari plastik no. 5 ini. Kenyataannya, ini adalah plastik yang paling umum dijumpai dalam bentuk yang bukan botol. *Polypropylene* (PP) merupakan plastik polymer yang mudah dibentuk ketika panas, lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Berat jenis plastik polypropylene (PP) sebesar $0,91 \text{ g/cm}^3$. *Polypropylene* (PP) dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. *Polypropylene* (PP) bisa tembus cahaya ataupun pekat, dan sangat kuat, sangat lentur dan kedap air. *Polypropylene* (PP) dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Plastik Jenis *Polypropylene* (PP).

5. Aspal

Aspal adalah campuran yang terdiri dari mineral dan bitumen yang berwarna coklat hingga hitam, keras hingga cair, mempunyai sifat lekat yang baik, mempunyai sifat berlemak dan tidak larut dalam air. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, untuk aspal beton umumnya hanya 4%-7% berdasarkan berat. Salah satu komponen penyusunan aspal (resin), menyebabkan bahan ini memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, yaitu:

- Memiliki sifat adhesi
- Memiliki kedekatan terhadap air yang tinggi
- Tahan terhadap pengaruh asam, basa dan cuaca

Dengan memiliki sifat-sifat yang dimiliki aspal tersebut, maka material aspal dalam campuran aspal semen berperan sebagai bahan pelumas saat pemadatan dan dapat menjalankan fungsi utama aspal yaitu mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat beban lalu lintas (water proofing, protect terhadap erosi) selama umur layanan serta mengisi rongga antar agregat itu sendiri. Sifat-sifat penting aspal (sifat teknis) yang diuji karena erat hubungannya dengan konstruksi perkerasan jalan antara lain:

- Tingkat kekerasan (penetrasi) aspal, jenis konstruksi perkerasan yang direncanakan dan kepadatan lalu lintas.

- Titik lembek, berkaitan dengan proses pencampuran, penghamparan dan pemadatan (aspal dengan lembek yang lebih tinggi, kurang peka terhadap suhu dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi perkerasan)
- Titik nyala, berkaitan dengan batas pemanasan yang diijinkan tanpa menimbulkan bahaya kebakaran (keselamatan kerja)
- Kehilangan berat akibat pemanasan, berkaitan dengan pencegahan terhadap kerapuhan aspal (kestabilan mutu aspal setelah pemanasan)
- Daktilitas, berkaitan dengan elastisitas dan peletakan aspal
- Daya larut, berkaitan dengan kemurnian aspal yang berdampak pada pelekatan aspal
- Viskositas, berkaitan dengan penentuan suhu pencampuran dan pemadatan.

Tabel 2.4 Sifat aspal untuk campuran beton aspal

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Syarat			
		Pen 60		Pen 80	
		min	Maks	min	Maks
Penetrasi 25°C, 5 det	0,1 mm	60	79	80	99
Titik Lembek	°C	48	58	46	54
Titik nyala	°C	200	-	225	-
Kehilangan berat 163°C, 5 jam	% berat	-	0,4	-	-
Kelarutan dlm CCl ₄	% berat	99	-	99	-
Daktilitas 25°C, 5cm/menit	Cm	100	-	100	-
Penetrasi setelah kehilangan berat	% terhadap asli	75	-	75	-
Penetrasi aspal hasil ekstraksi benda uji	% terhadap asli	55	-	55	-
Daktilitas aspal hasil ekstraksi benda uji	Cm	40	-	40	-
berat jenis 25°C	-	1	-	1	-

Sumber : *Beton Aspal Campuran Panas, Silvia Sukirman*

2.4. Metode Perencanaan Campuran

Rancangan campuran bertujuan untuk mendapatkan resep campuran aspal beton dari material yang terdapat di lokasi sehingga dihasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran yang ditetapkan. Saat ini, metode rancangan campuran yang paling banyak dipergunakan di Indonesia adalah metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris, dengan menggunakan alat Marshall.

2.4.1. Rancangan Campuran Agregat Dengan Metode Grafis

Secara grafis merancang proporsi campuran untuk agregat dilakukan dengan metode Rothluchs.

Langkah-langkah perancangan proporsi campuran adalah sebagai berikut:

1. Buat empat persegi panjang berukuran 10 x 20 cm, atau ukuran lain dengan perbandingan 1 : 2
2. Sumbu datar digunakan untuk menunjukkan ukuran saringan, sumbu tegak digunakan untuk menunjukkan persen lolos saringan
3. Garis diagonal dari empat persegi panjang menjadi garis gradasi tengah untuk spesifikasi agregat campuran yang diinginkan
4. Berdasarkan persen lolos saringan setiap ukuran saringan dari gradasi tengah ditentukan garis-garis yang menunjukkan lokasi setiap ukuran saringan. Jadi skala untuk sumbu horizontal ditentukan dari gradasi tengah spesifikasi agregat campuran
5. Gambar garis gradasi agregat dari masing-masing fraksi yang akan di campur.

Untuk menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat terdapat 2 macam cara setelah langkah kelima dilakukan, yaitu :

Cara pertama :

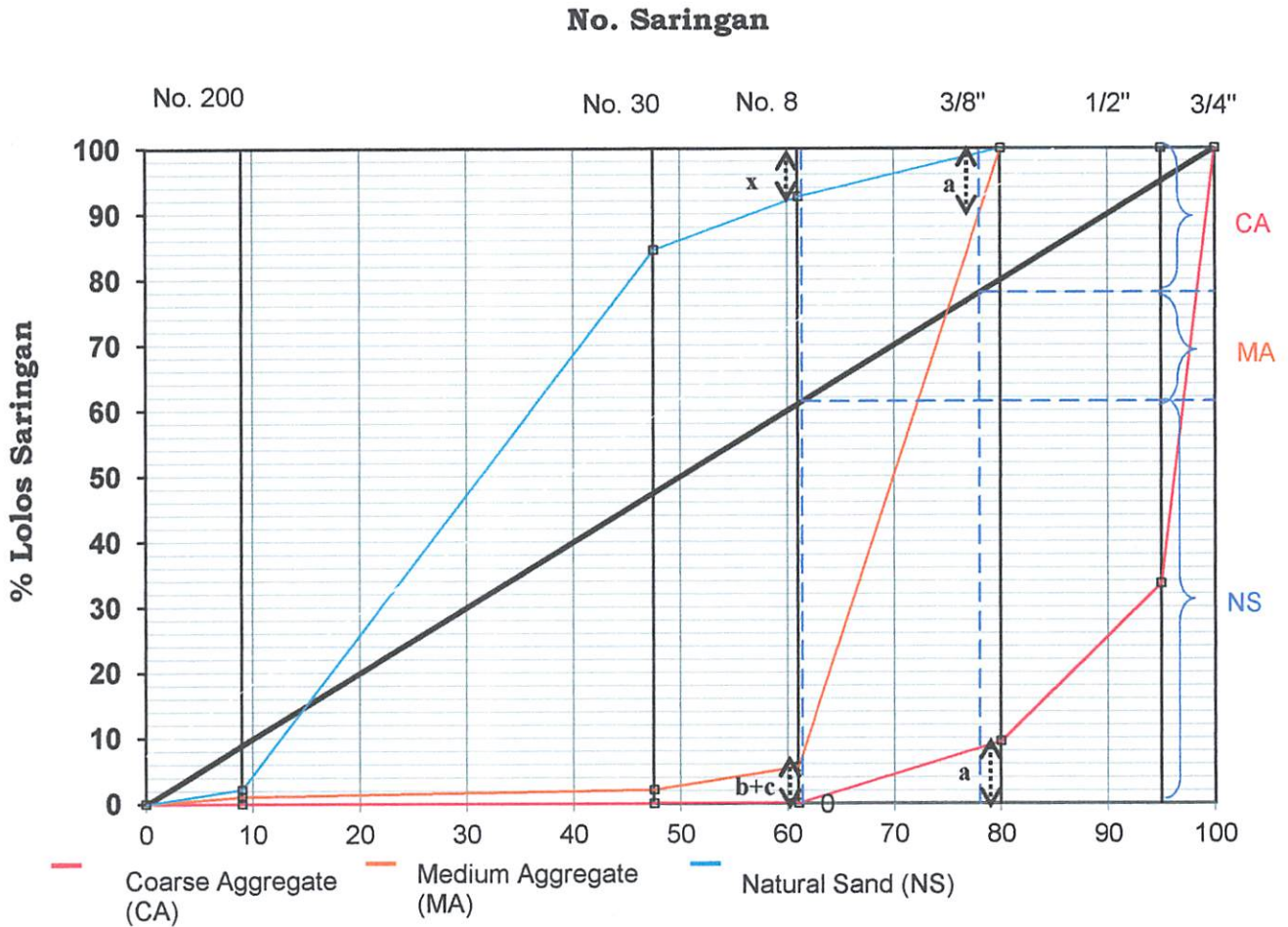
1. Proporsi dari agregat kasar ditentukan dengan menarik garis vertical sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat kasar (a) = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat sedang (a). Nilai proporsi

- agregat kasar ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan tepi atas.
2. Proporsi dari agregat halus, ditentukan dengan menarik garis vertical sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat halus (x) = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat kasar ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi agregat sedang ($b+c$).
 3. Nilai proporsi agregat halus ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan garis gradasi tengah spesifikasi agregat campuran dengan tepi bawah. Proporsi agregat sedang adalah 100% dikurangi proporsi agregat kasar dan dikurangi proporsi agregat halus.

Cara kedua :

1. Tarik garis lurus untuk lengkung gradasi masing-masing fraksi, sehingga luas daerah bagian kiri dan bagian kanan yang dibentuk oleh garis tersebut dengan lengkung gradasi fraksi agregatnya kurang lebih sama.
2. Hubungkan titik awal dan akhir dari garis-garis butir 1 secara berurutan. Perpotongan garis pada butir 2 ini dengan garis lengkung gradasi tengah spesifikasi campuran menentukan besarnya proporsi masing-masing fraksi agregat.

Grafik 2.1 Contoh Rancangan Campuran Agregat Dengan Metode Grafis



2.4.2. Kadar Aspal Total Dalam Campuran

Kadar aspal total dalam pencampuran aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat yang mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk kedalam pori masing-masing butir agregat.

Kadar aspal campuran ditetapkan dalam spesifikasi sifat campuran, maka untuk rancangan campuran di laboratorium dipergunakan kadar aspal tengah /

ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran.

Kadar aspal tengah/deal dapat pula ditentukan dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

Dengan menggunakan Spesifikasi Depkimpraswil 2002 didapat rumus sebagai berikut :

$$P = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K$$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = Fraksi agregat kasar = Persen berat material yang tertahan saringan no. 8 terhadap total campuran

FA = Fraksi agregat halus = Persen berat material yang lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200 terhadap berat total pencampuran

Filler = Fraksi bahan pengisi = Persen berat material yang lolos saringan no. 200 terhadap berat total.

K = Konstanta

= 0,5 – 1,0 untuk laston

= 2,0 – 3,0 untuk laston

Jika kadar aspal tengah $a\%$ maka digunakan variasi $(a-1)\%$, $(a-0,5)\%$, $a\%$, $(a+0,5)\%$ dan $(a+1)\%$.

2.5. Parameter Marshall

2.5.1. Metode Marshall

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

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

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan flow, dan perhitungan sifat volumetric benda uji.

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

1. Jumlah benda uji yang disiapkan.
2. Persiapan agregat yang akan digunakan.
3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
4. Persiapan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan untuk pengujian Marshall.

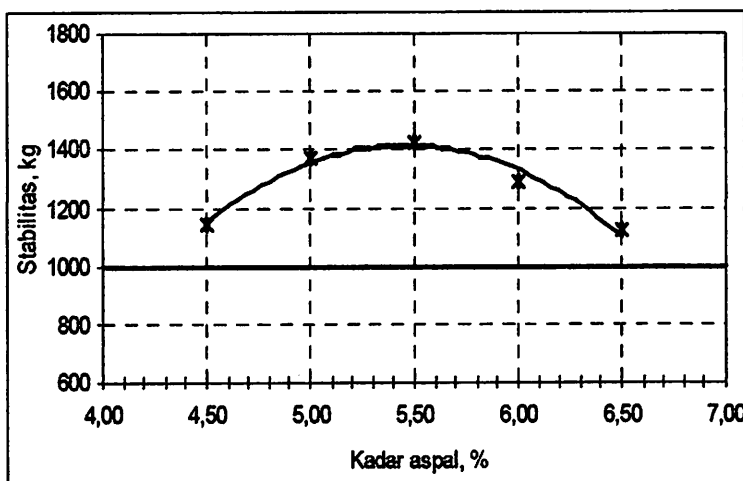
Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C. Setelah dikeringkan agregat dipisah-pisahkan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

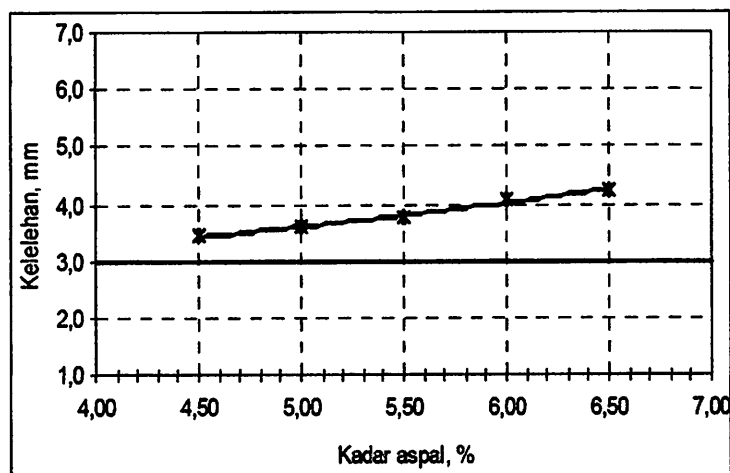
2.5.2. Pemeriksaan Nilai Stabilitas dan *Flow*

Pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *flowmeter* mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban.

Untuk mendapatkan temperatur benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan, maka sebelum dilakukan pemeriksaan benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 menit dan 24 jam dengan temperatur 60°C di dalam *water bath*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat Marshall, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 51mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring*, deformasi yang terjadi pada saat itu merupakan nilai *flow* yang dapat dibaca pada *flowmeter*. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

Grafik 2.2 Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas



Grafik 2.3 Hubungan antara kadar aspal dengan keelehan (*Flow*)

Tabel 2.5 Angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji.

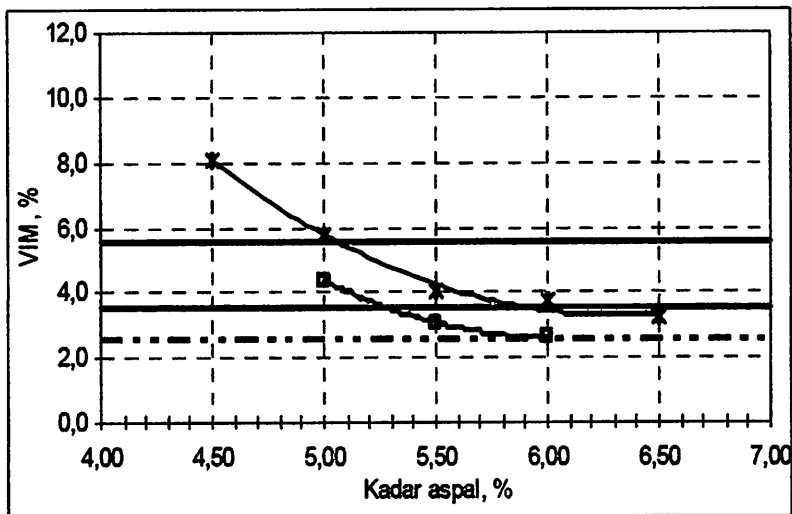
VOLUME BENDA UJI (cm ³)	TEBAL BENDA UJI (mm)	FAKTOR KOREKSI	VOLUME BENDA UJI (cm ³)	TEBAL BENDA UJI (mm)	FAKTOR KOREKSI
200 – 213	25,4	5,56	406 – 420	50,8	1,47
214 – 225	27,0	5,00	421 – 431	52,4	1,39
226 – 237	28,6	4,55	432 – 443	54,0	1,32
238 – 250	30,2	4,17	444 – 456	55,6	1,25
251 – 264	31,8	3,85	457 – 470	57,2	1,19
265 – 276	33,3	3,57	471 – 482	58,7	1,14
277 – 289	34,9	3,33	483 – 495	60,3	1,09
290 – 301	35,5	3,03	496 – 508	61,9	1,04
302 – 316	38,1	2,78	509 – 522	63,5	1,00
317 – 328	39,7	2,50	523 – 535	65,1	0,96
329 – 340	41,3	2,27	536 – 546	66,7	0,93
341 – 353	42,9	2,08	547 – 559	68,3	0,89
354 – 367	44,4	1,92	560 – 573	69,9	0,86
368 – 379	46,0	1,79	574 – 585	71,4	0,83
380 – 392	47,6	1,67	586 – 598	73,0	0,81
393 – 405	49,2	1,56	599 – 610	74,6	0,78
			611 – 625	76,2	0,76

2.5.3. Volume Pori dalam Benda Uji (VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (VIM) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam prosentase terhadap volume beton aspal padat.

$$VIM = 100 - \left(100 \times \frac{\text{Berat isi}}{BJ \text{ maksimum teoritis}} \right)$$

Grafik 2.4 Hubungan antara kadar aspal dengan VIM%.

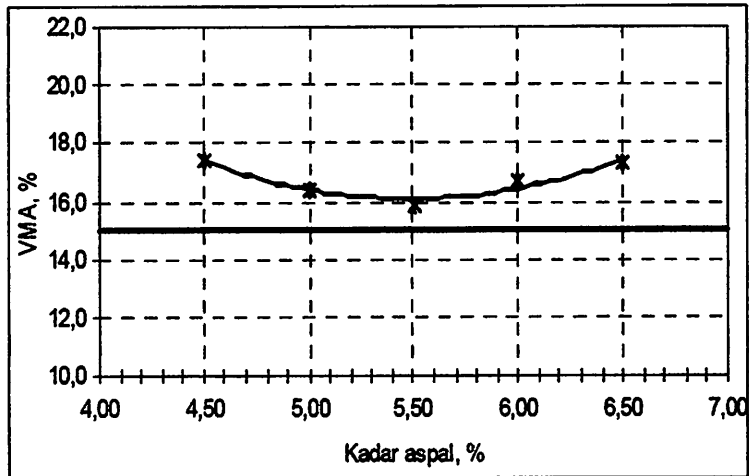


2.5.4. Volume antar Agregat dalam Benda Uji (VMA)

Banyaknya pori-pori antara butir agregat didalam beton aspal padat, yang terisi oleh aspal, dinyatakan sebagai VMA.

$$VMA = \left(100 - \frac{\text{Berat isi beton aspal padat}}{\text{Berat jenis agregat pembentuk beton aspal}} \times \frac{100}{100 + \text{kadar aspal}} \right) \times 100$$

Grafik 2.5 Hubungan kadar aspal dengan VMA

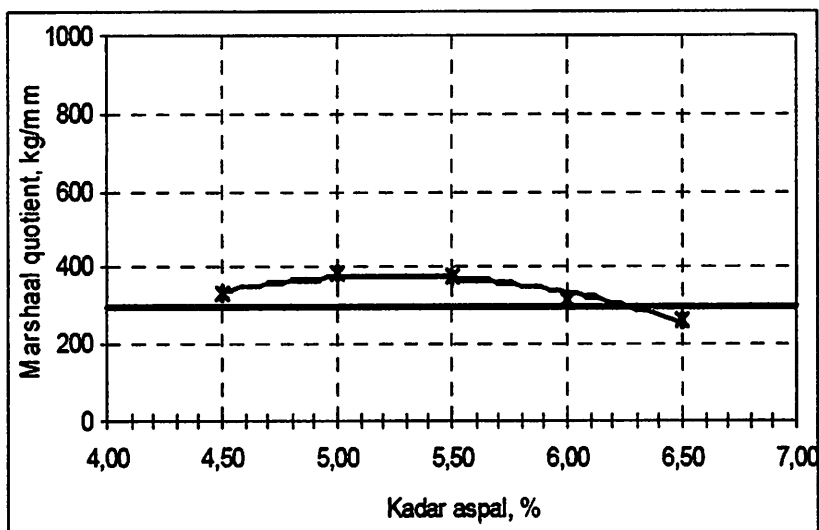


2.5.5. Kousien Marshall

Kousien Marshall (MQ) adalah ratio antara nilai stabilitas dan kelelahan (*Flow*).

$$MQ = \frac{\text{Nilai stabilitas dengan koreksi benda uji}}{\text{Flow}}$$

Grafik 2.6 Hubungan antara kadar aspal dengan MQ



2.6. Pengujian Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan adalah suatu estimasi terhadap parameter populasi dengan memakai range (interval nilai). Estimasi interval merupakan sekumpulan angka, yang kita duga salah satunya adalah nilai yang diduga. Dengan melakukan estimasi interval maka hasil pendugaan kita akan lebih objektif. Kita juga dapat menyatakan berapa besar tingkat kepercayaan kita, bahwa interval yang terbentuk mengandung nilai parameter yang kita duga. Dalam ilmu sosial, interval kepercayaan yang sering digunakan adalah 90%, 95%, atau 99%. Pada dasarnya seorang peneliti bebas menentukan berapa besar interval kepercayaan yang akan dipergunakan.

Pertimbangan adalah dengan semakin besar tingkat kepercayaan yang diberikan maka semakin tinggi pula tingkat kepercayaan bahwa parameter populasi yang diestimasi terletak dalam interval yang terbentuk, namun penelitian itu semakin menjadi tidak teliti. Apabila kita menetapkan interval kepercayaan sebesar 95% maka dengan kata lain kita menetapkan alpha sebesar 5% (100-95). Pengertiannya adalah kita memberikan toleransi untuk melakukan kesalahan sebanyak 5 kali dalam 100 kali percobaan

Dengan interval kepercayaan itu maka peneliti memiliki kepercayaan bahwa nilai parameter ditingkat populasi akan berada pada interval $\pm Z$ standard error dari rata-rata populasi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mencari kevalidan data yang telah didapatkan. Dalam pengujian ini, digunakan interval koefisien 95% hal ini berarti bahwa toleransi kesalahan yang diijinkan hanyalah sebesar 5%, sedangkan sisanya (95%) adalah data-data yang dapat dipercaya.

Data- data yang tidak memenuhi syarat tersebut kemudian dibuang, sehingga tertinggal data-data yang valid yang siap untuk diuji secara statistik.

Dalam pengujian interval kepercayaan menggunakan rumus :

$$\bar{X} = \frac{\text{Jumlah Stabilitas}}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n-1} - \frac{(\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

Dimana :

\bar{X} = Nilai rata-rata

s = Standar deviasi

Rumus interval kepercayaan :

$$x - \left(t_{\alpha/2} \cdot x \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right) < \mu < x + \left(t_{\alpha/2} \cdot x \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

2.7. Pengujian Hipotesis

Hipotesis adalah jawaban sementara terhadap pernyataan yang diajukan pada rumusan masalah penelitian. Hipotesis akan ditolak jika salah satu palsu dan akan diterima fakta-fakta yang membenarkan. Penolakan dan penerimaan hipotesis sangat bergantung pada hasil-hasil penyelidikan terhadap fakta-fakta empiris yang dikumpulkan.

Adapun peran hipotesis pada penelitian ilmiah adalah :

- a. Memberikan tujuan yang tegas bagi peneliti.

- b. Membantu dalam penentuan arah kegiatan yang harus ditempuh dalam pembatasan ruang lingkup, memilih fakta dan menentukan relevansi pelaksanaan kegiatan.
- c. Menghindari peneliti dari suatu kegiatan pelaksanaan penelitian yang tidak terarah dan tidak bertujuan.

Hipotesis dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu sebagai berikut :

1. Hipotesis nihil (H_0) : yaitu hipotesis yang menyatakan suatu kesamaan atau tidak adanya perbedaan antara dua kelompok atau lebih permasalahan yang dihadapi.
2. Hipotesis alternatif (H_a) : yaitu hipotesis yang menyamakan kebalikan dari hipotesis nihil.

Secara operasional dapat ditulis : $H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$.

Dalam merumuskan suatu hipotesis penelitian ada beberapa macam cara yang dapat digunakan, antara lain:

a. Distribusi Fisher (F)

Memperbandingkan dua varian, uji harga rata-rata tidak mencukupi (deviasinya sangat besar, sehingga nilai rata-rata sulit dijadikan ukuran) oleh karena itu digunakan uji varian yang mengikuti distribusi F.

Pada penelitian ini digunakan distribusi F, karena uji F banyak digunakan untuk uji hipotesis yang berdasarkan hasil pengamatan lebih dari 2 buah sampel. Uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh variable bebas terhadap variable terikat secara simultan. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari distribusi F yaitu :

a) Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) semua nilai pengamatan :

$$\Sigma Y^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2$$

b) Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk rata-rata :

$$R_y = \frac{J^2}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

c) Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) antar perlakuan :

$$P_y = \sum_{i=1}^k \left(\frac{J^2}{\sum_{i=1}^k n_i} \right) - R_y$$

d) Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) dalam eksperimen :

$$E_y = \Sigma Y^2 - R_y - P_y$$

keterangan :

Y = Data-data pengamatan

n = Banyak pengamatan

J = Jumlah dari data-data pengamatan

k = Variasi perlakuan

$$KT_{(antar\ perlakuan)} = \frac{P_y}{n-1}$$

$$KT_{(kekeliruan)} = \frac{E_y}{k(n-1)}$$

Nilai F dapat dicari dengan rumus :

$$F_{\text{hitung}} = \frac{KT(\text{antar perlakuan})}{KT(\text{kekeliruan})}$$

2.8. Pengujian Regresi

Analisa regresi adalah analisa dimana mempelajari hubungan data yang terdiri atas dua buah atau lebih variable. Hubungan yang didapat pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variable-variabel.

Analisa regresi merupakan salah satu analisa yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variable terhadap variable lain. Dalam analisis regresi, variable yang mempengaruhi disebut Independent Variable (Variabel bebas) dan variable yang dipengaruhi disebut Dependent Variable (variable terikat). Jika dalam persamaan regresi hanya terdapat satu variable bebas dan satu variable terikat, maka disebut sebagai persamaan regresi sederhana, sedangkan jika variable bebasnya lebih dari satu, maka disebut sebagai persamaan regresi berganda.

Dengan bentuk persamaan $\hat{Y} = a + bX + cX^2$, persamaan perhitungannya sebagai berikut :

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

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

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

Mencari koefisien determinasi (R^2) :

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

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

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

2.9. Tes Perendaman (Immersion Testing)

Terdapat beberapa tes yang bisa dipakai untuk mengukur kualitas adhesi antara aspal dan agregat akibat pengaruh air walaupun pada kenyataannya hanya memberikan pengaruh yang sedikit informasi tentang unjuk kerja dilapangan. Hal ini disebabkan karena tes perendaman dilakukan pada kondisi yang terkontrol.

Immersion mechanical test merupakan salah satu tes yang bisa dipakai untuk mengukur kualitas adhesi dalam penelitian ini. Tes ini meliputi pengukuran terhadap perubahan pada sifat mekanik dari suatu campuran aspal yang dipadatkan setelah perendaman dengan air. Rasio dari sifat mekanik setelah perendaman dibandingkan sebelum perendaman secara tidak langsung mengukur tingkat striping. Sifat mekanik yang bisa diukur termasuk kekuatan geser (shear strenght) , kekuatan tekan (Compresive strenght). Tes ini lebih dikenal dengan sebutan Marshall Immersion test dimana stabilitas marshall setelah dan sebelum perendaman dikenal sebagai retained stability dan disajikan dalam bentuk prosentase.

2.10. Penelitian terdahulu

Dari hasil penelitian Tjitjik wasinah Suroso (*Media Komunikasi Teknik Sipil, tahun 2008*) dengan judul Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (*Low Densitu Poly Etilen*) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal, menyebutkan bahwa dari hasil pengujian campuran beraspal baik karakteristik Marshall (lebih tinggi 22,5%), Stabilitas Dinamis (lebih tinggi 250%) , kecepatan deformasi (24% lebih rendah), modulus resilien di laboratorium menunjukkan bahwa campuran aspal plus plastik mutu rendah jenis LDPE cara kering maupun cara basah lebih baik dari aspal konvensional seperti ditunjukkan dari nilai density, Stabilitas Marshall, MQ, VFB lebih besar dari campuran beraspal dengan aspal konvensional. Kecepatan Deformasi lebih kecil (35 %) dari campuran beraspal dengan aspal pen 60 (aspal konvensional) untuk itu disarankan dapat dicoba pada perkerasan dengan lalu lintas padat dan berat. Namun kinerja pencampuran cara basah lebih baik dari cara kering Stabilitas dinamis campuran basah (lebih tinggi 7.1%), kecepatan deformasi campuran cara basah 20 % lebih rendah dari campuran cara kering hal ini kemungkinan disebabkan pada campuran secara basah plastik yang ditambahkan seluruhnya dapat bercampur dengan aspal. Hal ini kemungkinan tidak seluruh plastik bercampur dengan agregat (sebagian menempel ke wadah tempat pencampuran sehingga kadar plastik yang ditambahkan pada cara kering lebih rendah dari cara basah). Keuntungan pencampuran plastik cara kering diperkirakan mempunyai nilai ekonomis lebih murah dari campuran basah karena tidak memerlukan

peralatan khusus (alat pengaduk) seperti yang diperlukan apabila menggunakan pencampuran cara basah.

Zulfiani. AR (Jurnal Tugas Akhir, 2012) dalam penelitiannya mengenai Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-WC) Terhadap Pengaruh Plastik Sebagai Bahan Substitusi Aspal, serpih plastik dapat larut didalam aspal penetrasi 60/70 pada suhu 154°C berdasarkan dari data yang didapat dari pengujian. Substitusi serpih plastik terhadap aspal penetrasi 60/70 dapat menghemat penggunaan aspal sebesar 2,5% terhadap berat aspal yang digunakan dalam campuran aspal beton AC-WC. Substitusi serpih plastik terhadap aspal penetrasi 60/70 dapat memberikan pengaruh terhadap karakteristik campuran aspal beton AC-WC pada konsentrasi maksimum 2,5% terhadap berat aspal yaitu:

- a) Meningkatkan stabilitas campuran yaitu meningkatkan kemampuan campuran aspal beton AC-WC untuk memikul beban lalu lintas sampai terjadi kelelahan plastis.
- b) Menurunkan nilai Flow campuran yakni mengurangi kelenturan namun pengurangan itu masih tetap dalam ambang spesifikasi pada kadar plastik 2,5% terhadap berat aspal.
- c) Meningkatkan nilai Marshall Quotient (MQ). Keberadaan plastik kedalam campuran AC-WC, dapat meningkatkan kemampuan konstruksi jalan dalam menerima beban, namun konstruksi tersebut masih fleksibel dan lentur.

- d) Menurunkan nilai VIM (memperkecil pori pada campuran), lebih meningkatkan keawetan pada konstruksi jalan tanpa terjadi deformasi plastis (bleeding).
- e) Menurunkan nilai VMA (rongga diantara agregat), sehingga konstruksi jalan dapat lebih awet.
- f) Meningkatkan nilai VFB (rongga terisi aspal), meningkatkan kadar aspal efektif yang akan menyelimuti material dan menentukan kinerja campuran dalam suatu konstruksi.





№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

№ 12/10-2020

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Institut Teknologi Nasional Malang jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang dimulai tanggal 03 Juni 2013.

3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dibagi dalam dua tahap yaitu:

- a. Studi pustaka, bertujuan mengkaji hubungan variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk dirumuskan hipotesis penelitian.
- b. Studi eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Data tersebut dianalisa secara statistik untuk menguji hipotesis sehingga diperoleh kesimpulan akhir.

Penelitian ini meliputi :

3.2.1. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal

Variasi kadar aspal berdasarkan Depkimpraswil 2002 dengan menggunakan rumus :

$$P = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K$$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = Fraksi agregat kasar = Persen berat material yang tertahan saringan no. 8 terhadap total campuran

FA = Fraksi agregat halus = Persen berat material yang lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200 terhadap berat total pencampuran

Filler = Fraksi bahan pengisi = Persen berat material yang lolos saringan no. 200 terhadap berat total.

K = Konstanta (2,0-3,0)

3.2.2. Pembuatan Campuran Aspal Dengan Substitusi Serpihan Plastik *Polypropylene* (PP)

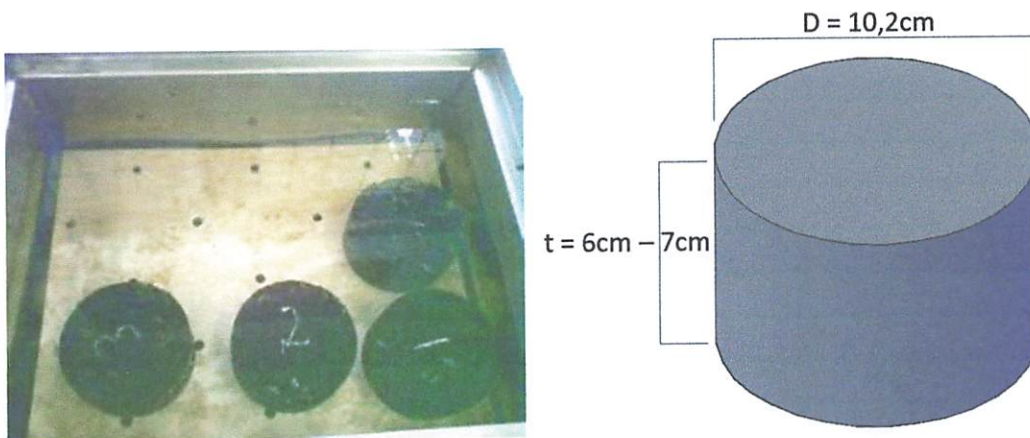
- a. Perhitungan prosentase agregat kasar dan agregat halus dengan kadar aspal optimum.
- b. Substitusi serpihan plastik *Polypropylene* (PP) 0%; 1,5%; 2,0%; 2,5%; 3,0% dan 3,5% terhadap berat dari kadar aspal optimum.
- c. Pencampuran agregat kasar, agregat halus, dan aspal dengan substitusi serpihan plastik *Polypropylene* (PP).
- d. Pengujian campuran aspal menggunakan metode Marshall dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - i. Pengukuran benda uji meliputi diameter dan tinggi benda uji.
 - ii. Penimbangan benda uji.
 - iii. Perendaman dalam air dengan suhu ruang selama 24 jam.
 - iv. Penimbangan berat dalam air serta dalam kondisi SSD.
 - v. Perendaman dalam waterbath dengan suhu 60 °C.

- vi. Pengujian benda uji dengan alat Marshall dan diperoleh nilai stabilitas serta flow.

3.3 Populasi Sampel

Dalam suatu penelitian, populasi sampel sangat penting untuk tingkat ketelitian dalam pengujian. Untuk penelitian ini direncanakan jumlah sampel sebagai berikut :

Gambar 3.1. Bentuk benda uji.



Tabel 3.1 Jumlah benda uji Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum.

Kadar Aspal	Perlakuan	Jumlah Benda Uji
6%	Direndam di Waterbath dengan suhu 60°C selama 30 menit	10 Buah
6,5%		10 Buah
7%		10 Buah
7,5%		10 Buah
8%		10 Buah
Total Benda Uji		50 Buah

Kadar Aspal	Perlakuan	Jumlah Benda Uji
6%	Direndam di Waterbath dengan suhu 60°C selama 24 jam	10 Buah
6,5%		10 Buah
7%		10 Buah
7,5%		10 Buah
8%		10 Buah
Total Benda Uji		50 Buah

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Dengan Subtitusi Serpihan Plastik PP.

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan subtitusi serpihan plastik <i>Polypropylene (PP) 0%</i>	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan subtitusi serpihan plastik <i>Polypropylene (PP) 1,5%</i>	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan subtitusi serpihan plastik <i>Polypropylene</i> (PP) 2%	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan subtitusi serpihan plastik <i>Polypropylene</i> (PP) 2,5%	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan subtitusi serpihan plastik <i>Polypropylene</i> (PP) 3%	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

Kadar Aspal Optimum	Perlakuan	Waktu	Jumlah Benda Uji
	Campuran dengan substitusi serpihan plastik <i>Polypropylene</i> (PP) 3,5%	30 menit	10 Buah
		24 jam	10 Buah
Total Benda Uji			20Buah

3.4 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari pengujian agregat, pengujian campuran agregat, dan pengujian stabilitas benda uji dengan alat Marshall.

3.5 Bahan-Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Aspal penetrasi 60/70 pertamina.
- b. Agregat kasar diambil dari tempat pemecahan batu di Madyopuro yang diperoleh dari daerah Krisik, Wlingi.
- c. Agregat halus menggunakan pasir dari Lumajang.
- d. Plastik limbah *Polypropylene* (PP).
- e. Semen Gresik PPC 104-005-080228 sebagai filler.
- f. Air untuk perendaman benda uji.

3.6. Pengujian Agregat dan Aspal

3.6.1. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan

(Aggregate Impact Value) (BS 812 : Part 3 : 1975)

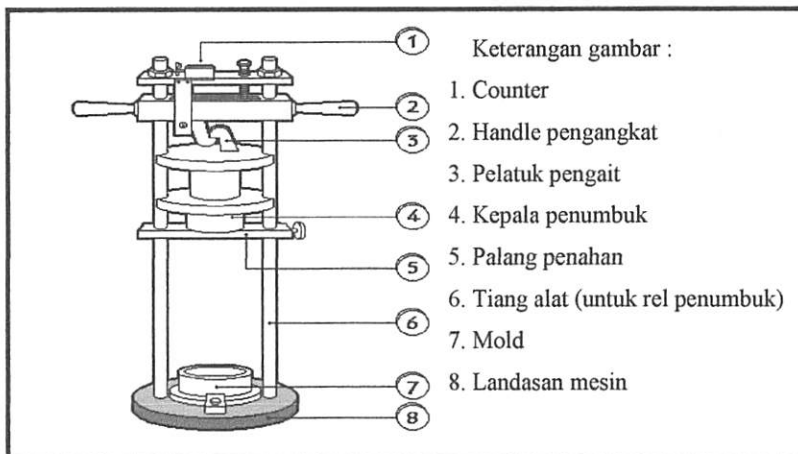
3.6.1.1. Maksud

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengukur kekuatan relatif agregat terhadap beban kejut (*impact*) yang dinyatakan dengan Aggregate Impact Value (AIV).

3.6.1.2. Peralatan

- a. Alat yang digunakan adalah mesin impact agregat seperti yang ditunjukkan dengan detail pada gambar 3.1.

Gambar 3.2. Detail Mesin Impact Aggregate



1. Berat total mesin tidak lebih dari 60 kg dan tidak kurang dari 40 kg. Dasar mesin terbuat dari baja dengan diameter 300 mm dan memiliki berat antara 22 sampai 30 kg.
2. *Cylindrical Steel Cup* memiliki diameter dalam 102 mm dan kedalaman 50 mm. Ketebalan cup tidak kurang dari 5 mm.

3. Palu baja yang digunakan memiliki berat antara 13,5 – 13,2 kg dengan bagian bawah (bidang kontak) merupakan lingkaran dan datar. Diameter bidang kontak 100 mm dan ketebalan 50 mm, dengan *chamfer* 1,5 mm. Palu diatur sedemikian rupa hingga dapat bergerak naik turun dengan mudah tanpa gesekan berarti. Palu baja bergerak jatuh bebas dengan tinggi jatuh 380 ± 5 mm, diukur dari bidang kontak palu sampai permukaan benda uji dalam cup.
 4. Alat pengunci palu dapat diatur sedemikian rupa untuk memudahkan penggantian benda uji dan pemasangan cup.
- b. Timbangan dengan kapasitas minimal 3 kg dan dengan ketelitian minimal 0,1 gram.
- c. Saringan dengan diameter # 13,2 mm; 9,5 mm; 2,36 mm (British Standard). Untuk ukuran agregat non-standar dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini.

Tabel 3.3. Ukuran agregat standar dan non standar yang dapat digunakan dengan dasar ukuran saringan dari British Standard

	Ukuran lolos		Saringan tertahan		Saringan pemisah	
Non – Standar	28	Mm	19,1	mm	5	mm
	19,1	Mm	13,2	mm	3,35	mm
Standar	13,2	Mm	9,5	mm	2,36	mm
Non – Standar	9,5	Mm	6,3	mm	1,7	mm
	6,3	Mm	5	mm	1,18	mm
	5	Mm	3,35	mm	850	μm
	3,35	Mm	2,36	mm	600	μm

Catatan : Agregat dengan ukuran lebih besar dari 13,2 mm kurang cocok dilakukan Impact Test.

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

3.6.1.3. Benda Uji

- a. Benda uji yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan # 13,2 mm dan tertahan saringan # 9,5 mm pada British Standard. Untuk setiap pengujian dibuat dua benda uji.
- b. Benda uji harus dalam keadaan kering permukaan. Pengeringan dengan oven dilakukan tidak lebih dari 4 jam dengan suhu 110 °C. Suhu benda uji harus dalam kondisi suhu ruang (25 °C) pada saat dilakukan pengujian. Jumlah benda uji diatur sedemikian rupa sehingga tidak melebihi tinggi up (50 mm). Benda uji dimasukkan ke dalam cup dengan agak dipadatkan (ditekan dengan tangan).
- c. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram dan dinyatakan sebagai berat A.

3.6.1.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Letakkan mesin impact agregat pada plat datar, lantai atau balok beton dan atur palu pada penguncinya.
- b. Letakkan cup yang telah berisi benda uji pada tempatnya. Pastikan posisi cup sudah baik dan kuat sehingga tidak bergeser akibat pukulan palu.

- c. Atur ketinggian palu sedemikian rupa sehingga jarak antara bidang kontak palu dengan permukaan benda uji 380 ± 5 mm.
- d. Lepaskan pengunci palu dan biarkan palu jatuh bebas ke benda uji. Angkat palu pada posisi semula dan lepaskan kembali (jatuh bebas). Tumbukan dilakukan sebanyak 15 kali dengan tenggang waktu antar tumbukan tidak lebih dari 1 detik.
- e. Setelah selesai pisahkan benda uji dengan saringan # 2,36 mm British Standar selama satu menit dan timbang berat yang lolos dan tertahan sebagai B dan C. Jika selisih (B + C) dengan A lebih besar dari 1 gram, pengujian harus diulang.

3.6.1.5. Perhitungan

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

dimana :

AIV = Aggregate Impact Value (%)

A = Berat awal benda uji

B = Berat lolos saringan # 2,36 mm (gr)

3.6.2. Pengujian Indeks Kepipihan (Flakiness Index)(Bs 812 : Part 1 : 1975)

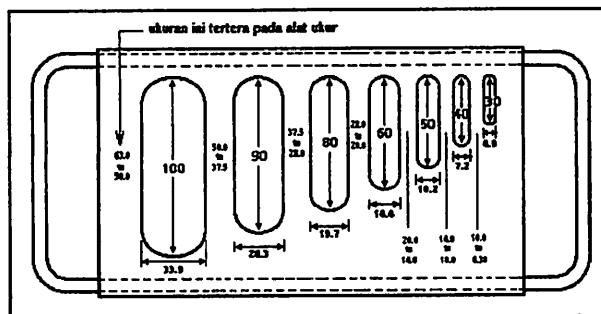
3.6.2.1. Maksud

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

3.6.2.2. Peralatan

- Alat pengukur tebal kepipihan terbuat dari logam, dengan bentuk dan ukuran seperti pada gambar 4.2.

Gambar 3.3. Alat Pengukur Kepipihan



- Saringan menurut British Standard dengan diameter 450 mm atau 300 mm dengan ukuran saringan 63,0 mm; 50,0 mm; 37,5 mm; 28,0 mm; 19,10 mm; 13,2 mm; 9,5 mm dan 6,30 mm lengkap dengan penutup wadah (pan).
- Timbangan dengan kapasitas yang sesuai dengan ukuran contoh yang akan diuji dengan ketelitian sampai 1% dari berat benda yang diuji.

- d. Alat pemisah benda uji dengan ukuran yang sesuai dengan partikel terbesar atau sekop penyodok benda uji yang bersih, baki logam yang digunakan untuk kuatering.
- e. Baki dengan ukuran yang sesuai dapat dimasukkan ke dalam oven untuk memanaskan tanpa menimbulkan kerusakan atau mengubah berat benda uji.
- f. Oven dengan ventilasi dan dapat dikontrol dengan thermometer untuk mempertahankan suhu pada $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- g. Alat pengguncang saringan bila diperlukan.

3.6.2.3. Benda Uji

Pengambilan benda uji dilakukan sesuai dengan ketentuan cara-cara pengambilan yang berlaku. Jumlah benda uji yang diambil harus sesuai dengan ukuran nominal bahan dan mengikuti ketentuan pada tabel 3.2 di bawah ini (yaitu dilakukan penyortiran agregat yang lolos saringan ukuran 63,0 mm dan tertahan saringan ukuran 6,30 mm).

Tabel 3.4. Berat minimum benda uji

Ukuran saringan nominal (mm)	Berat minimum setelah penyortiran (kg)
63	50
50	35
37,5	15
28	5
19,1	2
13,2	1
9,5	0,5

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap dengan ketelitian sampai 0,1%. Pengujian dilakukan pada suhu kamar.

3.6.2.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Saring benda uji sesuai dengan ketentuan fraksi agregat pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.5. Data untuk menentukan indeks kepipihan

Fraksi ukuran agregat saringan penguji (mm)		Jarak pengukur kepipihan (mm) (3/5 x tengah #)	Berat minimum tiap fraksi (kg)
100 % lolos	100 % tertahan		
63	50	33 ± 0,3	50
50	37,5	26,3 ± 0,3	35
37,5	28	19,7 ± 0,3	15
28	19,1	14,4 ± 0,15	5
19,1	13,2	10,2 ± 0,15	2
13,2	9,5	7,2 ± 0,1	1
9,5	6,3	4,9 ± 0,1	0,5

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

- b. Singkirkan seluruh agregat yang tertahan saringan 63 mm dan lolos 6,3 mm.
- c. Timbang agregat yang lolos saringan 63 mm dan tertahan 6,3 mm sebagai M_1 .
- d. Timbang berat agregat di masing-masing fraksi dan hitung prosentasenya terhadap M_1 . Catat berat masing-masing fraksi agregat dan prosentasenya pada lembar isian yang tersedia.

- e. Simpan agregat pada baki-baki secara terpisah sesuai dengan ukuran fraksinya.
- f. Catat jumlah seluruh agregat yang prosentase per fraksinya lebih besar dari 5% dan dinyatakan sebagai M_2 .
- g. Ukur fraksi-fraksi agregat yang memiliki prosentase lebih besar dari 5% dengan menggunakan pengukur kepipihan (*flakiness*) dengan ketentuan :
 1. Lewatkan dengan tangan setiap butir agregat pada lubang alat kepipihan sesuai dengan ukurannya, seperti pada tabel 3.3. di atas. Pisahkan setiap butir yang dapat lewat dan tidak dapat lewat untuk setiap fraksi.
 2. Timbang agregat yang lewat dan tidak lewat untuk masing-masing fraksi.
 3. Jumlahkan berat toral agregat yang lewat dan dinyatakan sebagai M_{3F} .

3.6.2.5. Perhitungan

$$\text{Indeks kepipihan (\%)} = \frac{M_{3F} \times 100}{M_2}$$

Dimana :

M_2 = jumlah fraksi yang mempunyai prosentase berat lebih besar dari 5% terhadap berat total.

M_{3F} = jumlah berat partikel agregat yang lolos pada alat kepipihan.

3.6.3. Penentuan Angka Angularitas (Angularity Number) (BS 812 : Part 1 : 1975)

3.6.3.1. Maksud

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menyeragamkan cara memperoleh angka angularitas agregat kasar yang masih dapat digunakan sebagai bahan perkerasan pada jalan raya.

3.6.3.2. Peralatan

- a. Oven dengan ventilasi dan dapat dikontrol dengan thermometer untuk mempertahankan suhu pada $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- b. Timbangan dengan kapasitas 10 kg dengan ketelitian 1 gram.
- c. Saringan menurut British Standard dengan diameter 450 mm atau 300 mm dengan ukuran lubang 19,10 mm ($3/4''$); 13,2 mm ($1/2''$); 9,5 mm ($3/8''$); 6,3 mm ($1/4''$); 5,0 mm (No. 4) lengkap dengan tutup dan wadah (pan).
- d. Baki dengan ukuran yang sesuai, yang dapat dimasukkan ke dalam oven untuk memanaskan tanpa menimbulkan kerusakan atau mengubah berat benda uji.
- e. Silinder metal dengan ketebalan tidak kurang dari 3 mm, mempunyai kapasitas 3 liter, dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm.
- f. Tongkat pemadat dari metal dengan diameter 16 mm, panjang 60 mm.
- g. Sekop metal dengan ukuran 200 mm x 120 mm x 50 mm (kapasitas 1 liter).

3.6.3.3. Benda Uji

Pengambilan benda uji dilakukan sesuai dengan cara-cara pemisahan yang berlaku. Jumlah benda uji yang diambil harus sesuai dengan ukuran nominal bahan yaitu setelah dilakukan penyortiran agregat seperti pada tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.6. Data untuk menentukan angka angularitas

Fraksi ukuran agregat saringan		Berat minimum tiap fraksi (kg)
100% lolos (mm)	100% tertahan (mm)	
19,1	13,2	4
13,2	9,5	4
9,5	6,3	4
6,3	5,0	4

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

Sebelum dilakukan pengujian, benda uji harus disiapkan sebagai berikut :

1. Siapkan benda uji yang telah disortir dengan mengikuti tabel 3.4 di atas.
2. Singkirkan seluruh agregat yang tertahan pada saringan ukuran 19,10 mm dan lolos saringan ukuran 5,00 mm (N0. 4).
3. Timbang agregat untuk setiap fraksi hasil penyortiran seberat ± 4 kg.
4. Simpan masing-masing fraksi di atas baki secara terpisah, berikan tanda sesuai ukuran fraksi, kemudian keringkan dalam oven dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam sampai berat agregat menjadi konstan.
5. Dinginkan temperatur agregat sampai sesuai temperatur ruangan, kemudian seluruh agregat dicampur sampai merata.

3.6.3.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Timbang berat silinder pengujian dalam keadaan kosong kemudian catat beratnya (W_1).
- b. Isi silinder dengan air sampai penuh, kemudian timbang dan catatlah berat air dalam silinder (W_2).
- c. Hitung berat air ($W_3 = W_2 - W_1$).
- d. Isilah benda uji dengan agregat yang sudah dicampur ke dalam silinder dengan alat sekop secara hati-hati dalam tiga lapis yang sama tebal.
- e. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat dengan cara menjatuhkan tongkat pemadat dari ketinggian 50 mm (5 cm) di atas permukaan agregat sebanyak 100 kali dengan waktu rata-rata 2 tumbukan per detik.
- f. Ratakan permukaan benda uji dengan tongkat pemadat dengan cara merolling sampai betul-betul rata dengan permukaan silinder.
- g. Timbang dan catatlah berat benda uji agregat di dalam silinder.
- h. Lakukan langkah (mulai mengisi sampai menimbang) di atas sampai 3 kali kemudian hitung dan catatlah berat rata-rata benda uji agregat dari ketiga percobaan tersebut (M).
- i. Apabila berat dari salah satu pengujian berbeda (lebih besar dari 25 g) dengan berat rata-rata, maka 3 pengujian tambahan segera dilakukan dengan menggunakan benda uji yang sama, kemudian dari keenam pengujian tersebut dihitung berat rata-rata benda uji (M).

3.6.3.5. Perhitungan

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

dimana :

M = berat agregat dalam silinder.

C = berat air diisi penuh dalam silinder (g).

G_a = specific gravity dari agregat.

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

3.6.4.1. Maksud

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

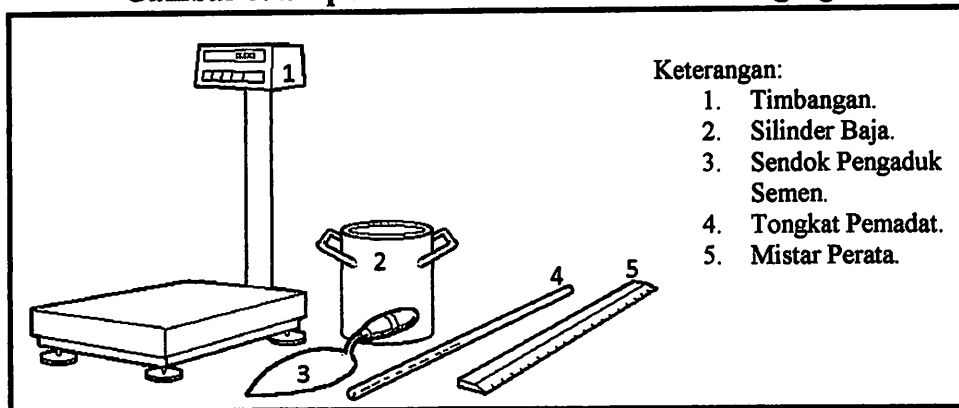
3.6.4.2. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh.
- b. Oven dengan pengatur suhu sampai pemanasan $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- c. Talam berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.
- d. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat, sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
- e. Mistar perata (straight edge).
- f. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pengering berkapasitas seperti berikut :

Tabel 3.7. Data silinder untuk berat isi

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal wadah minimum (mm)		Ukuran butir maksimum agregat (mm)
			dasar	sisi	
3	155 ± 2	160 ± 2	5,0	2,5	12,7
10	205 ± 2	305 ± 2	5,0	2,5	25
15	255 ± 2	295 ± 2	5,0	3,0	40
30	355 ± 2	305 ± 2	5,0	3,0	100

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN,
Malang

Gambar 3.4. Aparatus Pemeriksaan Berat Isi Agregat

3.6.4.3. Benda Uji

Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai dengan tabel 3.5 di atas. Keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

3.6.4.4. Prosedur Pelaksanaan

1. Berat isi lepas (untuk agregat dengan ukuran butir maksimum 100 mm / 4") :
 - a. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1).

- b. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir, dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - c. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - d. Timbang dan catatlah berat wadah + benda uji (W_2).
 - e. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).
2. Berat isi padat dengan cara penusukan (untuk agregat dengan butir ukuran maksimum 38,1 mm 1 ½") :
- a. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
 - b. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang ditusukkan sebanyak 25 kali secara merata.
 - c. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - d. Timbang dan catatlah berat wadah + benda uji (W_2).
 - e. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).
3. Berat isi padat dengan cara penggoyangan (untuk agregat dengan ukuran butir maksimum lebih dari 38,1 mm (1 ½") :
- a. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
 - b. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 - c. Padatkan setiap lapis dengan cara menggoyang-goyangkan wadah dengan prosedur sebagai berikut :
 - a) Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan.

- b) Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
- d. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- e. Timbang dan catatlah berat wadah + benda uji (W_2).
- f. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)

3.6.4.5. Perhitungan

$$\text{Berat isi} = \frac{W_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

dimana :

$$V = \text{isi wadah (dm}^3\text{)}$$

$$W_3 = \text{berat benda uji (kg)}$$

3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus Dan Kasar (AASHTO T-27-82)

(ASTM C-136-46)

3.6.5.1. Maksud

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

3.6.5.2. Peralatan

- a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- b. Satu set saringan :

Tabel 3.8. Daftar saringan yang digunakan untuk analisa

No.	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	16	30	50	100	200
Mm	75,0	63,0	50,0	37,5	25	20	12,5	10	4,75	3,35	1,18	0,6	0,297	0,149	0,075
Inch	3"	2½"	2"	1½"	1,06"	¾"	½"	3/8"	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

- c. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- d. Alat pemisah contoh (sample splitter).
- e. Mesin pengguncang saringan.
- f. Talam-talam.
- g. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat-alat lainnya.

3.6.5.3. Benda Uji

Jumlah berat benda uji setelah pengeringan tidak kurang dari :

- a. Agregat Halus

Tabel 3.9. Berat minimum benda uji agregat halus

Material	Berat minimum (gram)
90 % lolos saringan no. 4	500
95 % lolos saringan no. 8	100

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

b. Agregat Kasar

Tabel 3.10. Berat minimum benda uji agregat kasar

Ukuran butiran maksimum nominal	Berat minimum (kg)
3 ½ "	35
3 "	30
2 ½ "	25
2 "	20
1 ½ "	15
1 "	10
¾ "	5
½ "	2
3/8 "	1

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

- 1) Ukuran maksimum nominal (butiran agregat) didefinisikan sebagai bukaan saringan terkecil dimana seluruh butiran agregat lolos.
- 2) Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan no. 4.
- 3) Selanjutnya agregat halus dan agregat kasar disediakan sebanyak jumlah yang tercantum di atas. Benda uji disiapkan sesuai dengan PB-0208-76 kecuali apabila butiran yang melalui saringan no. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

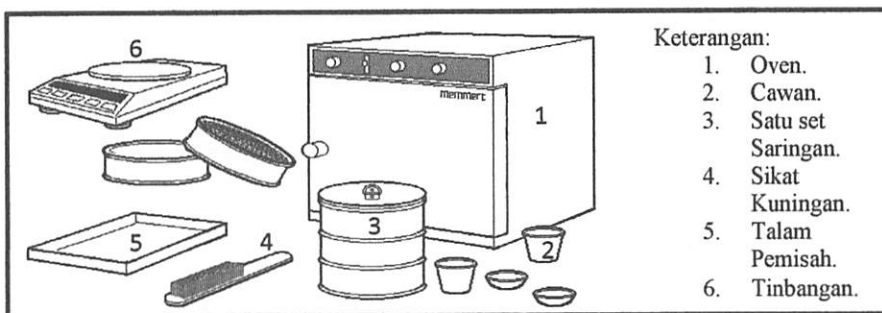
3.6.5.4. Prosedur Penelitian

- a. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
- b. Saring benda uji melewati susunan saringan dengan ukuran lubang saringan paling besar ditempatkan paling atas. Guncang susunan saringan tersebut dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

3.6.5.5. Perhitungan

- a. Hitung prosentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.
- b. Laporan meliputi jumlah prosentase melalui masing-masing saringan atau jumlah prosentase di atas masing-masing saringan dalam bilangan bulat, serta menggambar grafik akumulatif.

Gambar 3.5. Aparatus Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar



3.6.6. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (AASHTO T-84-81)

3.6.6.1. 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) 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.

3.6.6.2. Peralatan

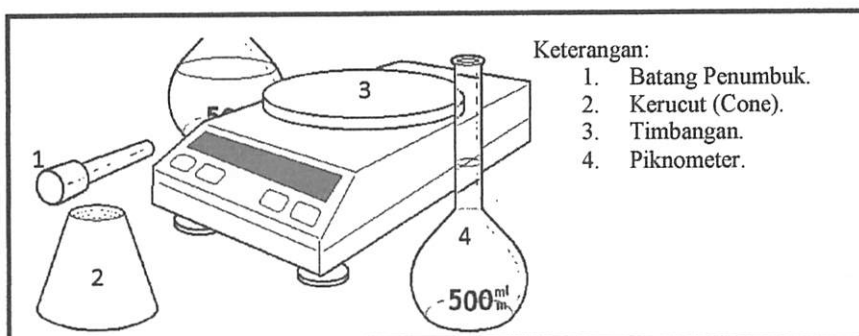
- a. Timbangan, berkapasitas 1 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram.
- b. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.

- c. Kerucut (cone) terpancung berdiameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm.
- d. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 1) gram, diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm.
- e. Saringan no. 4.
- f. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5)°C.
- g. Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C.
- h. Talam.
- i. Bejana tempat air.
- j. Pompa hampa udara (vacuum pump) atau tungku.
- k. Air suling.
- l. Desicator.

3.6.6.3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lewat saringan no. 4 diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempatan sebanyak 1000 gram.

Gambar 3.6. Aparatus Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



3.6.6.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap. Yang dimaksud dengan berat tetap adalah keadaan berat benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih dari 0,1%.
- b. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4) jam.
- c. Buang air perendam hati-hati, jangan ada butiran yang hilang. Tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- d. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk selama 25 kali, kemudian angkat kerucut terpancung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila benda uji runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak. Pengeringan dihentikan bila agregat sudah mencapai keadaan kering permukaan jenuh.
- e. Segera setelah mencapai keadaan kering permukaan jenuh, masukkan 500 gram benda uji (agregat) ke dalam piknometer.
- f. Masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat proses ini, dapat digunakan pompa hampa udara

(vacuum stand), tetapi harus diperhatikan jangan sampai ada air yang ikut terisap. Selain menggunakan pompa hampa udara dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer dalam air.

- g. Rendam piknometer dalam air dan buat suhu air menjadi suhu standar 25°C untuk perhitungan.
- h. Tambahkan air sampai tanda batas.
- i. Timbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (B_t).
- j. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap, kemudian dinginkan benda uji dalam desicator.
- k. Setelah benda uji dingin, timbanglah (B_k).
- l. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C (B).

3.6.6.5. Perhitungan

a. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$

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

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

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

dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

B_t = berat piknometer berisi benda uji dalam air (gr)

B_j = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)

3.6.7. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-85-81)

3.6.7.1. 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.

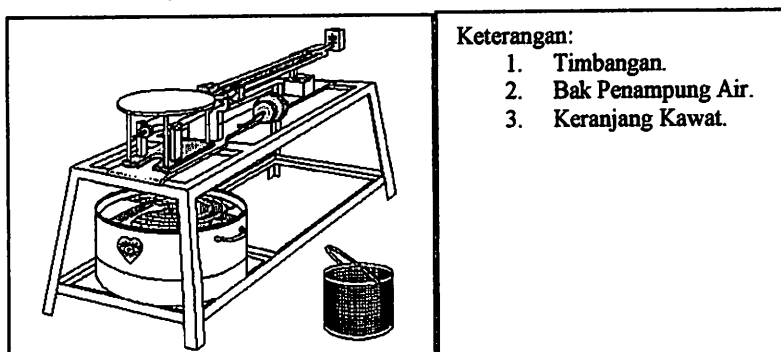
3.6.7.2. Peralatan

- a. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (no. 6 atau no. 8) dengan kapasitas kira-kira 5 kg.
- b. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- c. Timbangan, berkapasitas 5 kg atau lebih dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- d. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- e. Alat pemisah contoh (sample splitter).
- f. Saringan no. 4.

3.6.7.3. Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no. 4 diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempatan sebanyak 5 kg.

Gambar 3.7. Aparatus Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



3.6.7.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan lain yang melekat pada permukaan agregat.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 110°C sampai berat tetap.
- c. Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1 sampai 3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,3 gram (B_k).
- d. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 jam.
- e. Keluarkan benda uji dari air, keringkan benda uji dengan mengelap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaannya hilang (kondisi SSD). Untuk butiran yang besar, pengeringan harus satu-persatu.
- f. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j).
- g. Timbang benda uji di dalam keranjang, goncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya dalam air (B_a). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25°C).

3.6.7.5. Perhitungan

a. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_j - B_a)}$

b. Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) $= \frac{B_j}{(B_j - B_a)}$

c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_k - B_a)}$

d. Penyerapan (absorpsi)

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (kg)

B_j = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (kg)

B_a = benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (kg)

3.6.8. Pengujian Keausan Agregat Dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles (AASHTO T-96-77(1982))

3.6.8.1. Maksud

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

3.6.8.2. Peralatan

- a. Mesin Abrasi Los Angeles, yaitu mesin yang terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm (28") dan panjang 50 cm (20"). Silinder ini bertumpu pada dua poros pendek tidak menerus yang berputar pada poros mendatar. Silinder mempunyai lubang untuk memasukkan benda uji. Penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 8,9 cm (3,56").

- b. Bola-bola baja mempunyai diameter rata-rata 4,68 cm (1 7/8") dan berat masing-masing antara 400 gram sampai 440 gram.
- c. Saringan mulai ukuran 37,5 mm (1 1/2") sampai 2,38 mm (No. 8).
- d. Timbangan dengan kapasitas 5000 gram dan dengan ketelitian 1 gram.
- e. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.

3.6.8.3. Benda Uji

Benda uji harus bersih. Bila benda uji masih mengandung kotoran, debu, bahan organik atau terselimuti oleh bahan lain, maka benda uji harus dicuci dahulu sampai bersih kemudian dikeringkan dalam suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Pisahkan benda uji ke dalam masing-masing fraksi kemudian digabungkan sesuai dengan daftar berikut.

Tabel 3.11. Daftar Berat dan Gradasi Benda Uji

Ukuran saringan		Berat dan gradasi benda uji (gram)			
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A	B	C	D
37,5 (1 1/2")	25,0 (1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0 (1")	19,0 (3/4")	1250 ± 25	-	-	-
19,0 (3/4")	12,5 (1/2")	1250 ± 25	2500 ± 25	-	-
12,5 (1/2")	9,5 (3/8")	1250 ± 25	2500 ± 25	-	-
9,5 (3/8")	6,3 (1/4")	-	-	2500 ± 25	-
6,3 (1/4")	4,75 (No.4)	-	-	2500 ± 25	-
4,75 (No.4)	2,36 (No. 8)	-	-	-	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Jumlah bola		12	11	8	6
Berat bola (gram)		5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 25	2500 ± 25

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

3.6.8.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles dan mesin diputar dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm sebanyak 500 ± 1 putaran.
- b. Setelah selesai putaran, benda uji dikeluarkan, disaring dengan saringan 4,75 mm (No. 4) dan 1,7 (No. 12). Butiran yang lebih besar dari 1,7 mm (tertahan di kedua saringan tersebut) dicuci bersih, dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat menjadi tetap. Kemudian timbang dengan ketelitian 5 gram.

3.6.8.5. Perhitungan

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

dimana :

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan di saringan No. 12 (dan No. 4) (gram)

3.6.9. Pemeriksaan Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen (AASHTO T-49-80) (ASTM D-5-71)

3.6.9.1. Maksud

Pemeriksaan 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.

3.6.9.2. Peralatan

- a. Alat penetrasi yang dapat menggerakkan pemegang jarum naik turun tanpa gesekan dan dapat mengukur penetrasi sampai 0,1 mm.
- b. Pemegang jarum seberat $(47,5 \pm 0,05)$ gr yang dapat dilepas dengan mudah dari alat penetrasi untuk peneraan.
- c. Pemberat sebesar $(50 \pm 0,05)$ gr dan $(100 \pm 0,05)$ gr masing-masing dipergunakan untuk pengukuran penetrasi dengan beban 100 gr dan 200 gr.
- d. Jarum penetrasi dibuat dari stainless steel mutu 44°C, atau HRC 54 sampai 60. ujung jarum harus berbentuk kerucut terpancung.
- e. Cawan contoh terbuat dari logam atau gelas berbentuk silinder dengan dasar yang rata-rata berukuran sebagai berikut :

Tabel 3.12. Ukuran Cawan Penetrasi

Penetrasi	Diameter	Dalam
Di bawah 200	55 mm	35 mm
200 sampai 300	70 mm	45 mm

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

- f. Bak perendam (waterbath)

Terdiri dari bejana dengan isi tidak kurang dari 10 liter dan dapat menahan suhu tertentu dengan ketelitian lebih kurang $0,1^{\circ}\text{C}$. Bejana dilengkapi dengan pelat dasar berlubang-lubang, terletak 50 mm di atas dasar bejana dan tidak kurang dari 100 mm di atas dasar bejana dan tidak kurang dari 100 mm di bawah permukaan air dalam bejana.

- g. Tempat air untuk benda uji ditempatkan di bawah alat penetrasi.

Tempat tersebut mempunyai isi tidak kurang dari 350 ml dan tinggi yang cukup untuk merendam benda uji tanpa bergerak.

h. Pengukuran waktu.

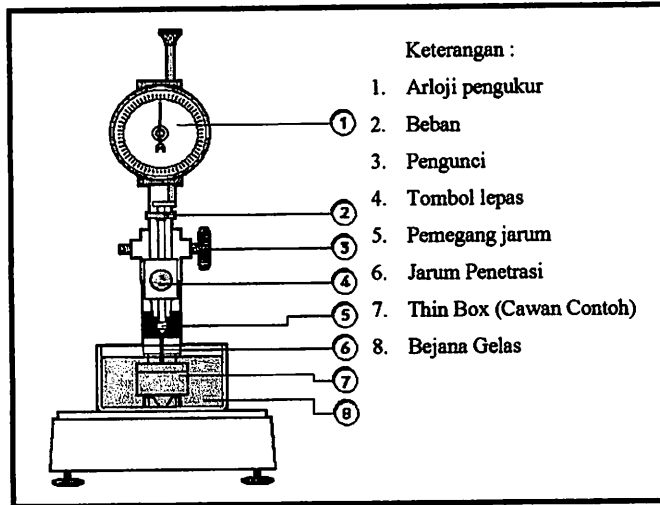
Untuk pengukuran penetrasi dengan tangan diperlukan stop watch dengan skala pembagian terkecil 0,1 detik atau kurang, dan kesalahan tertinggi 0,1 detik per detik. Untuk pengukuran penetrasi dengan alat otomatis, kesalahan alat tersebut tidak boleh melebihi 0,1 detik.

i. Termometer.

3.6.9.3. Benda Uji

Panaskan contoh perlahan-lahan serta aduklah hingga cukup cair untuk dapat dituangkan. Pemanasan contoh untuk ter tidak lebih dari 60°C di atas titik lembek, dan untuk bitumen tidak lebih dari 90°C di atas titik lembek. Waktu pemanasan tidak boleh melebihi 30 menit. Aduklah perlahan-lahan agar udara tidak masuk ke dalam contoh. Setelah contoh merata, tuangkan ke dalam tempat contoh dan diamkan hingga dingin, tinggi contoh dalam tempat tersebut tidak kurang dari angka penetrasi ditambah 10 mm. Buatlah dua benda uji (duplo). Tutup benda uji agar bebas dari debu dan diamkan pada suhu ruang selama 1 sampai 1,5 jam untuk benda uji kecil dan 1,5 sampai 2 jam untuk yang besar.

Gambar 3.8. Alat Penetrasi



3.6.9.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Letakkan benda uji dalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut ke dalam bak perendam yang telah berada pada suhu yang ditentukan. Diamkan dalam bak tersebut selama 1 sampai 1,5 jam untuk benda uji kecil dan 1,5 sampai 2 jam untuk benda uji besar.
- b. Periksalah pemegang jarum agar jarum dapat dipasang dengan baik dan bersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain kemudian keringkan jarum tersebut dengan lap bersih dan pasanglah jarum pada pemegang jarum.
- c. Letakkan pemberat 50 gr di atas jarum untuk memperoleh beban sebesar $(100 \pm 0,1)$ gram.
- d. Pindahkan tempat air dari bak perendam ke bawah alat penetrasi.
- e. Turunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji. Kemudian aturlah angka 0 di arloji penetrometer sehingga jarum penunjuk berimpit dengannya.

- f. Lepaskan pemegang jarum dan serentak jalankan stopwatch selama ($5 \pm 0,1$) detik.
- g. Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk. Bulatkan hingga angka 0,1 mm terdekat.
- h. Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.
- i. Lakukan pekerjaan a sampai dengan g di atas tidak kurang dari 3 kali untuk benda uji yang sama, dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lain dari tepi dinding lebih dari 1 cm.

3.6.9.5. Perhitungan

Nilai penetrasi dinyatakan sebagai rata-rata dari sekurang-kurangnya 3 pembacaan dengan ketentuan bahwa hasil-hasil pembacaan tidak melampaui ketentuan pada tabel 3.11

Tabel 3.13. Toleransi Untuk Hasil Penetrasi

Hasil Penetrasi	0 – 49	50 - 149	150 – 199	200
Toleransi	2	4	6	8

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

Apabila perbedaan antara masing-masing pembacaan melebihi toleransi, pemeriksaan harus diulangi.

3.6.10. Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar (AASHTO T-48-81) (ASTM D-92-52)

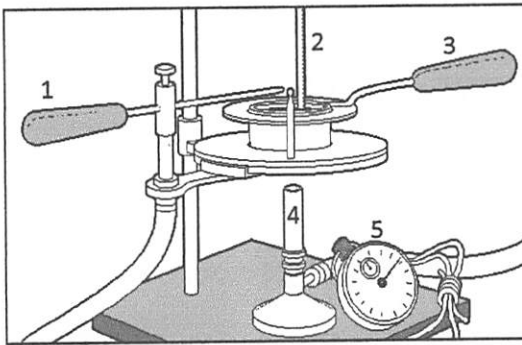
3.6.10.1. Maksud

Pemeriksaan 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.

3.6.10.2. Peralatan

- a. Cawan kuningan (cleveland cup)
- b. Termometer
- c. Nyala penguji, yaitu nyala api yang dapat diatur dan memberikan nyala dengan diameter 3,2 sampai 4,8 mm dengan panjang tabung 7,5 cm.
- d. Pemanas, pembakaran gas atau tungku listrik atau pembakar alkohol yang tidak menimbulkan asap atau nyala di sekitar atas cawan.
- e. Stopwatch
- f. Penahan angin, alat yang menahan angin apabila digunakan nyala sebagai pemanasan.

Gambar 3.9. Alat Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar



Keterangan:

1. Nyala Penguji.
2. Termometer.
3. Cawan Kuningan.
4. Pemanas.
5. Stopwatch.

3.6.10.3. Benda Uji

Panaskan benda uji aspal antara $148,9^{\circ}\text{C}$ sampai 176°C sampai cukup cair. Kemudian isikan pada cawan cleveland sampai garis pembatas dan hilangkan (pecahkan) gelembung udara yang ada pada permukaan cairan.

3.6.10.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Letakkan cawan di atas nyala pemanas tepat di bawah titik tengah cawan.
- b. Letakkan nyala penguji dengan poros pada jarak 7,5 cm dari titik tengah cawan.
- c. Pasanglah termometer, nyalakan kompor dan atur pemanasan sehingga kenaikan suhu adalah 15°C per menit sampai mencapai suhu 56°C di bawah titik nyala yang diperkirakan untuk selanjutnya kenaikan suhu 5°C sampai 6°C per menit.
- d. Tempatkan penahan angindi depan nyala penguji.

- e. Nyalakan sumber pemanas dan aturlah pemanas sehingga kenaikan suhu menjadi $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ per menit sampai benda uji mencapai 56°C di bawah titik nyala perkiraan.
- f. Kemudian aturlah kecepatan pemanasan 5°C sampai 6°C permenit pada suhu antara 56°C dan 28°C di bawah titik nyala perkiraan.
- g. Nyalakan nyala penguji dan aturlah agar diameter nyala penguji tersebut menjadi 3,2 sampai 4,8 mm.
- h. Putarlah nyala penguji sehingga melalui permukaan cawan (dari tepi ke tepi cawan) dalam waktu satu detik. Ulangilah pekerjaan tersebut setiap kenaikan 2°C .
- i. Lanjutkan pekerjaan f sampai h sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan benda uji. Bacalah suhu pada termometer dan catat.
- j. Lanjutkan pekerjaan i sampai terlihat nyala yang agak lama sekurang-kurangnya 5 detik di atas permukaan benda uji. Bacalah suhu pada termometer dan catat.

3.6.10.5. Perhitungan

Laporkan hasil rata-rata pemeriksaan ganda (duplo) sebagai titik nyala benda uji, dengan toleransi sebagai berikut :

Tabel 3.14. Toleransi Untuk Hasil Titik Nyala dan Titik Bakar

Titik nyala dan titik bakar	Ulangan oleh satu orang dengan satu alat	Ulangan oleh beberapa orang dengan satu alat
Titik nyala 175°F sampai 550°F	5°F (2°C)	10°F (5,5°C)
Titik bakar lebih dari	10°F (5,5°C)	15°F (8°C)

Sumber : Petunjuk Praktikum Bahan Jalan Perkerasan Jalan Raya, FTSP, ITN, Malang

3.6.11. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Dan Ter (AASHTO T-53-89)

3.6.11.1. Maksud

Pemeriksaan 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 atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal dan ter tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.

3.6.11.2. Peralatan

- a. Cincin kuningan
- b. Bola baja, berdiameter 9,53 mm dengan berat 3,45 gr sampai 3,55 gr.
- c. Dudukan benda uji, lengkap dengan pengarah bola baja dan plat dasar yang mempunyai jarak tertentu.
- d. Bejana gelas tahan pemanasan mendadak dengan diameter dalam 8,5 cm, tinggi \pm 12 cm.

- e. Termometer.
- f. Penjepit.
- g. Alat pengarah bola.

3.6.11.3. Benda Uji

Panaskan benda uji perlahan-lahan sambil diaduk terus menerus hingga cair merata. Pemanasan dan pengadukan dilakukan perlahan-lahan agar gelembung-gelembung udara tidak masuk.

Setelah cair merata tuangkan contoh ke dalam dua buah cincin. Suhu pemanasan ter tidak melebihi 56°C di atas titik lembeknya dan untuk aspal tidak melebihi 111°C di atas titik lembeknya.

Panaskan 2 buah cincin sampai mencapai suhu tuang contoh, dan letakkan kedua cincin di atas pelat kuningan yang telah dilapisi campuran talk dan sabun.

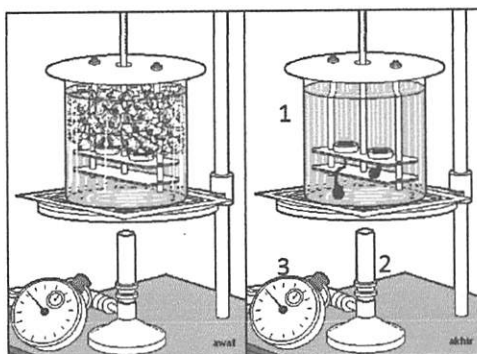
Tuangkan contoh. Kemudian tuang contoh ke dalam 2 buah cincin, diamkan pada suhu $\pm 8^{\circ}\text{C}$ di bawah titik lembeknya sekurang-kurangnya 30 menit.

Setelah dingin, ratakan permukaan contoh dalam cincin dengan pisau yang telah dipanaskan.

3.6.11.4. Prosedur Pelaksanaan

- Pasang dan aturlah kedua benda uji di atas dudukan dan letakkan pengarah bola di atasnya. Kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas.
- Isilah bejana dengan air suling baru, dengan suhu $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 101,6 sampai 108 mm.
- Letakkan termometer yang sesuai untuk pekerjaan ini di antara kedua benda uji (\pm berjarak 12,7 mm dari tiap cincin).
- Periksa dan aturlah jarak antara permukaan pelat dasar benda uji sehingga menjadi 25,4 mm.
- Letakkan bola-bola baja yang bersuhu 5°C di atas permukaan bagian tengah masing-masing benda uji yang bersuhu 5°C menggunakan penjepit dengan memasang kembali pengarah bola.
- Panaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit sebagai kecepatan pemanasan rata-rata dari awal dan akhir pekerjaan ini. Untuk 3 menit pertama perbedaan kecepatan tidak boleh melebihi $0,5^\circ\text{C}$.

Gambar 3.10. Pemeriksaan Titik Lembek



Keterangan:

- Bejana dengan Benda Ujinya.
- Pemanas.
- Stopwatch.

3.6.12. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen (AASHTO T-51-81)

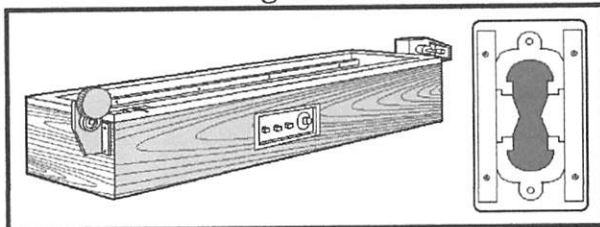
3.6.12.1. Maksud

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

3.6.12.2. Peralatan

- a. Termometer.
- b. Cetakan daktilitas kuningan
- c. Bak perendam isi 10 liter yang dapat menjaga suhu tertentu selama pengujian dengan ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$ dan benda uji dapat direndam sekurang-kurangnya 10 cm di bawah permukaan air.
- d. Mesin uji dengan ketentuan sebagai berikut :
 1. Dapat menarik baja dengan kecepatan yang tetap
 2. Dapat menjaga benda uji tetap terendam dan tidak menimbulkan getaran selama pemeriksaan.
- e. Methyl alkohol teknik dan sodium klorida teknik.

Gambar 3.11. Mesin Pengukur dan Cetakan Daktilitas



3.6.12.3. Benda Uji

Lapisi semua bagian dalam cetakan daktilitas dan bagian atas pelat dasar dengan campuran glycerin dan dextrin atau glycerin dan kaolin atau amalgam. Kemudian pasanglah cetakan daktilitas di atas pelat dasar. Panaskan contoh aspal kira-kira 100 gram sehingga cair dan dapat dituang. Untuk menghindari pemanasan setempat, lakukan dengan hati-hati.

Pemanasan dilakukan sampai suhu antara 80°C sampai 100°C di atas titik lembek. Kemudian saring contoh dengan saringan no. 59 dan setelah diaduk, tuanglah dalam cetakan dengan hati-hati dari ujung ke ujung hingga penuh berlebihan.

Dinginkan cetakan pada suhu ruang 30 sampai 40 menit lalu pindahkan seluruhnya ke dalam bak perendam yang telah disiapkan pada suhu pemeriksaan (sesuai dengan spesifikasi) selama 30 menit. Kemudian ratakan contoh yang berlebihan dengan pisau (spatula) panas sehingga cetakan terisi penuh dan rata.

3.6.12.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Benda uji didiamkan pada suhu 25°C dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian lepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi cetakannya.
- b. Pasanglah benda uji pada mesin uji dan tariklah benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm/menit sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diijinkan.

- c. Bacalah jarak antara pemegang cetakan, pada saat benda uji putus (dalam cm). Selama percobaan berlangsung benda uji harus terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari air dan suhu harus dipertahankan tetap $(25 \pm 9,5) ^\circ\text{C}$.

3.6.13. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter

(AASHTO T-226-79)

3.6.13.1. Maksud

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dan ter dengan piknometer. Berat jenis bitumen atau ter adalah perbandingan antara berat bitumen atau ter dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

3.6.13.2. Peralatan

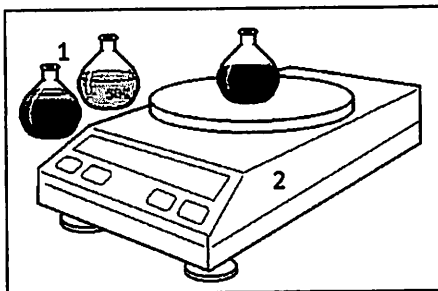
- a. Termometer.
- b. Bak perendam yang dilengkapi dengan pengatur suhu dengan ketelitian $(25 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.
- c. Piknometer.
- d. Air suling sebanyak 1000 cm^3 .
- e. Bejana gelas.
- f. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.

3.6.13.3. Benda Uji

Panaskan contoh bitumen keras sejumlah 50 gram sampai menjadi cair, dan aduklah untuk mencegah pemanasan setempat. Pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit pada suhu 56°C di atas titik lembek.

Tuangkan contoh tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian.

Gambar 3.12. Pemeriksaan Berat Jenis dan Ter



Keterangan:

1. Piknometer.
2. Timbangan.

3.6.13.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang terendam 40 mm. Kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sehingga terendam sekurang-kurangnya 100 mm. Aturilah suhu bak perendam pada 25°C .
- b. Bersihkan, keringkan dan timbang piknometer dengan ketelitian 1 mg (A).
- c. Angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan.
- d. Letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup hingga rapat, kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam. Diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-

- kurangnya 30 menit, kemudian angkatlah piknometer dan keringkan dengan lap. Timbanglah dengan ketelitian 1 mg (B).
- e. Tuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian.
 - f. Biarkan piknometer sampai dingin, waktu tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C).
 - g. Isilah piknometer (yang telah berisi benda uji) tersebut dengan air suling dan tutuplah tanpa ditekan. Diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar.
 - h. Angkatlah bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di dalamnya dan kemudian tekanlah penutup hingga rapat. Masukkan dan diamkan bejana ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit. Setelah itu angkat, keringkan dan timbanglah piknometer (D).

3.6.13.5. Perhitungan

Hitunglah berat jenis dengan rumus :

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

dimana :

A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

3.6.14. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak Dan Aspal

(AASHTO T-47-82)

3.6.14.1. Maksud

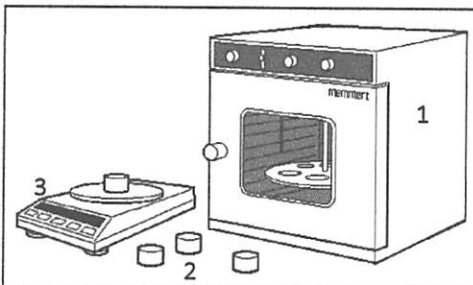
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menetapkan penurunan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam prosen berat semula.

3.6.14.2. Peralatan

- a. Termometer
- b. Oven yang dilengkapi dengan :
 1. Pengatur suhu untuk memanasi sampai $(180 \pm 1)^{\circ}\text{C}$.
 2. Pinggan logam berdiameter 25 cm, menggantung dalam oven pada poros vertikal dan berputar dengan kecepatan 5 sampai 6 putaran per menit.
- c. Cawan

Logam atau gelas berbentuk silinder dengan dasar yang rata berdiameter dalam 15 mm dan tinggi 35 mm.
- d. Neraca analitik, dengan kapasitas $(200 \pm 0,001)$ gram.

Gambar 3.13. Aparatus Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal



Keterangan:

1. Oven.
2. Cawan.
3. Neraca (timbangan).

3.6.14.3. Benda Uji

- a. Sebelum dilakukan pemanasan lakukan pada benda uji pengujian Penetrasi (AASHTO T 49-80); Titik lembek (AASHTO T 53-89); dan daktilitas (AASHTO T 51-81) sesuai prosedur yang ada.
- b. Persiapan pemanasan. Aduklah contoh minyak atau aspal serta panaskan bila perlu untuk mendapatkan campuran yang merata.
- c. Tuangkan contoh kira-kira ($50,0 \pm 0,5$) gram ke dalam cawan dan setelah dingin timbanglah dengan ketelitian 0,01 gram (A).
- d. Benda uji yang diperiksa harus bebas air.
- e. Siapkan benda uji ganda (duplo).

3.6.14.4. Prosedur Pelaksanaan

- a. Letakkan benda uji di atas piringan setelah oven mencapai suhu (163 ± 1)°C.
- b. Pasanglah termometer padaudukannya sehingga terletak pada jarak 1,9 cm dari pinggir piringan dengan ujung 6 mm di atas piringan.
- c. Ambillah benda uji dari oven setelah 5 jam sampai 5 jam 15 menit.
- d. Dinginkan benda uji pada suhu ruang kemudian timbanglah dengan ketelitian 0,01 gram (B).
- e. Lakukan kembali pada pengujian Penetrasi (AASHTO T 49-80); Titik lembek (AASHTO T 53-89); dan daktilitas (AASHTO T 51-81) sesuai prosedur yang ada.

3.6.14.5. Perhitungan

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

dimana :

A = berat cawan + contoh sebelum diuji (gram)

B = berat cawan + contoh setelah diuji (gram)

3.6.15. 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 Metode Grafis tipe A seperti contoh pada grafik 2.1. Berikut cara menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat.

1. Proporsi dari agregat kasar ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat kasar = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat sedang. Nilai proporsi agregat kasar ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan tepi atas. Jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi agregat sedang adalah a , yang sama panjang dengan jarak dari garis gradasi fraksi agregat kasar ke tepi bawah.
2. Proporsi dari agregat halus, ditentukan dengan menarik garis vertical sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat halus = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat kasar ditambah dengan

jarak dari tepi bawah ke garis gradasi agregat sedang. Jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi agregat halus adalah x , yang sama panjang dengan jarak dari garis gradasi fraksi agregat kasar ke tepi bawah, c , ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat sedang, b . Jadi $x = b + c$.

3. Nilai proporsi agregat halus ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan garis gradasi tengah spesifikasi agregat campuran dengan tepi bawah. Proporsi agregat sedang adalah 100% dikurangi proporsi agregat kasar dan dikurangi proporsi agregat halus.

3.6.16. Pembuatan Sampel dan Pengujian Sampel

1. Persiapan dan pengeringan agregat dalam oven selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air dalam agregat.

Gambar 3.14. Agregat Kasar, Sedang, Halus Serta Bahan Filler



2. Penimbangan agregat sesuai proporsi campuran.

Gambar 3.15. Penimbangan Agregat Kasar, Sedang, Halus Serta Filler



3. Pemanasan aspal sampai suhu $\pm 140^{\circ}\text{C}$.

Gambar 3.16. Pemanasan dan Pengukuran Suhu Aspal



4. Pemanasan agregat sampai suhu 140°C dan pencampuran agregat dengan aspal sesuai prosentase perencanaan sampai tercampur rata.

Gambar 3.17. Pemanasan Agregat, Penambahan Aspal dan Pencampuran Agregat dengan Aspal



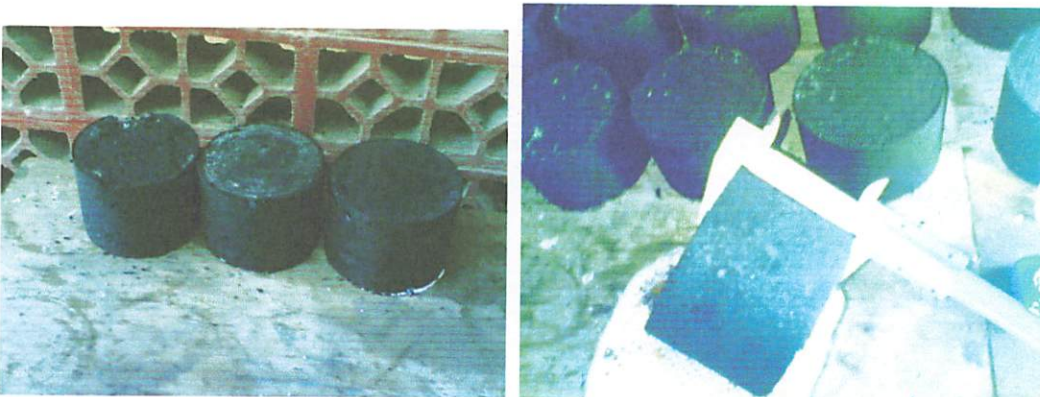
5. Pencetakan sampel dan penumbukan sebanyak 2 x 75 bolak-balik.

Gambar 3.18. Pencetakan Sampel dan Penumbukan Sampel



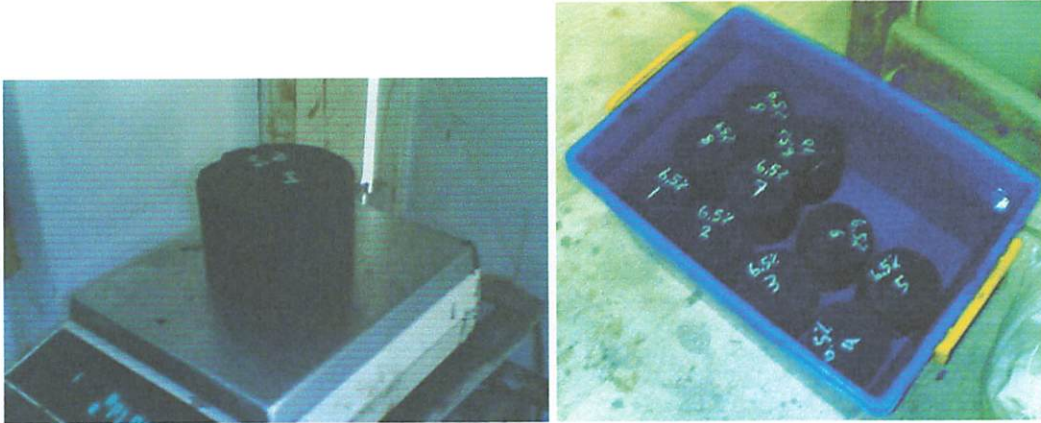
6. Pendinginan sampel selama 24 jam serta pengukuran tinggi pada 3 titik dan pengukuran diameter.

Gambar 3.19. Pendinginan dan Pengukuran Sampel



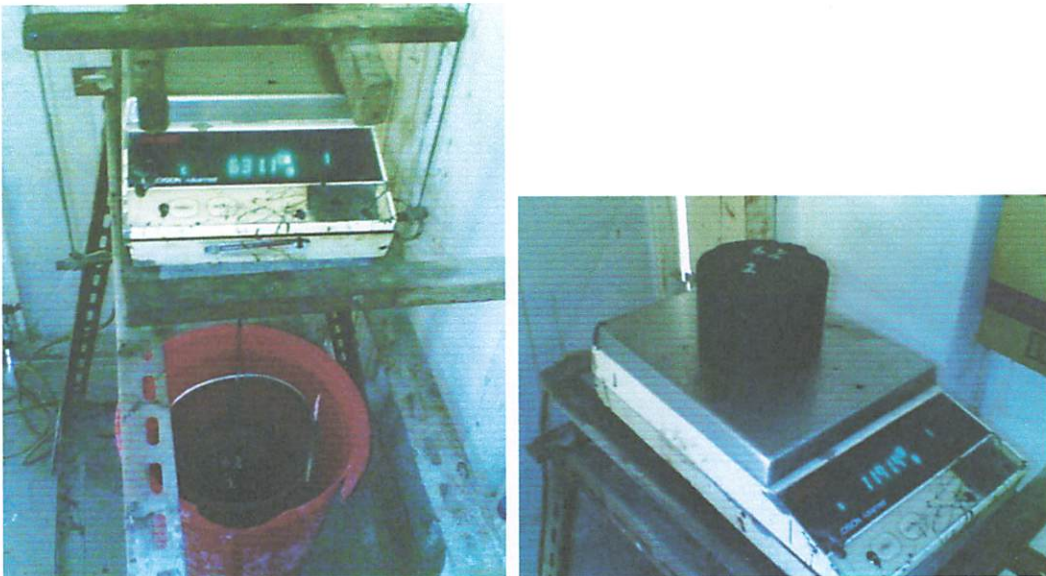
7. Penimbangan sampel dan perendaman selama 24 jam dalam air pada suhu ruangan.

Gambar 3.20. Penimbangan Berat Sampel dan Perendaman Sampel



8. Penimbangan berat sampel dalam air dan SSD (kering permukaan jenuh).

Gambar 3.21. Penimbangan Berat Sampel Dalam Air dan SSD



9. Perendaman sampel dalam *Waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit dan 24 jam.

Gambar 3.22. Perendaman Sampel Dalam Waterbath dengan Suhu 60°C

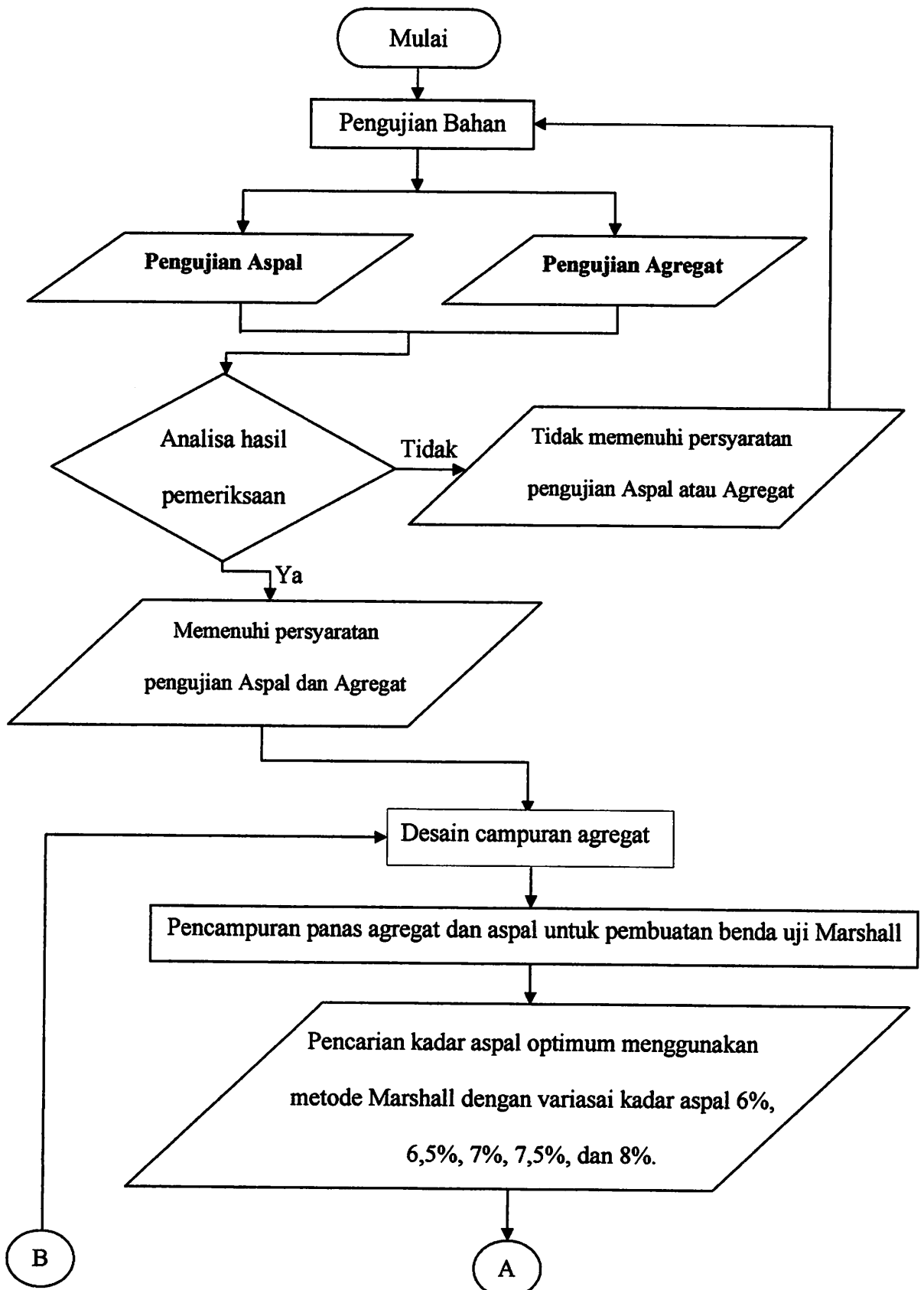


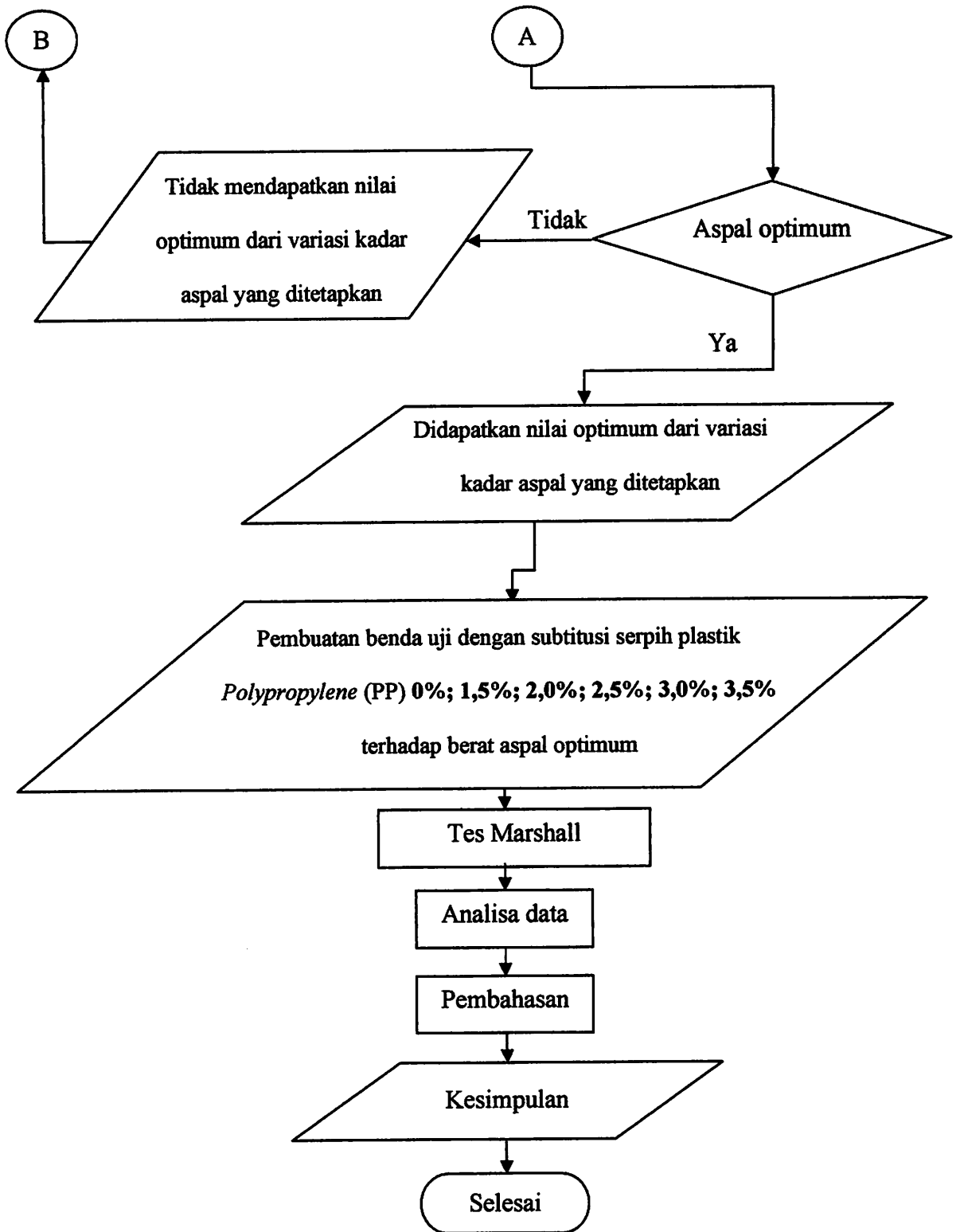
10. Pengujian sampel dengan alat tes Marshall untuk memperoleh data stabilitas dan *Flow*.

Gambar 3.23. Pengujian Sampel dengan Alat Tes Marshall



3.7. Bagan Alir Penelitian





BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA KADAR ASPAL

OPTIMUM

4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

4.1.1. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan
(Aggregate Impact Value) (BS 812 : Part 3 : 1975)

4.1.1.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Terhadap Tumbukan
(Aggregate Impact Value)

		I	II
(A)	Berat benda uji gram	500	500
(B)	berat benda uji setelah tes dan lewat saringan # 2,36 mm BS gram	53,9	45,2
(C)	Berat benda uji setelah tes dan tertahan saringan # 2,36 mm BS gram	446,1	454,8
	Aggregate Impact Value (AIV) (%)	10,78	9,04
	Rata-rata Aggregate Impact Value (%)	9,91	

Contoh Perhitungan :

1) Benda uji I

Diketahui :

Berat awal benda uji (A) = 500 gram

Berat lolos saringan (B) = 53,9 gram

Maka

$$AIV = \frac{53,9}{500} \times 100 \%$$

$$= 10,78 \%$$

$$2) \text{ AIV rata-rata} = \frac{10,78 + 9,04}{2} = 9,91 \%$$

4.1.1.2. Hasil Pengujian

Hasil Perhitungan rata-rata aggregate impact value dari agregat kasar didapatkan nilai sebesar 9,91%, sedangkan persyaratan aggregate impact value maksimum 30%(Tabel 2.2), maka agregat ini dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4.1.2. Pengujian Indeks Kepipihan (Flakiness Index)(Bs 812 : Part 1 : 1975)

4.1.2.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Indeks Kepipihan (Flakiness Index)

Analisa saringan		Berat kering oven = 3500 Gram
Saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	Prosentase tertahan (%)
63		
50		
37,5		
28		
19,1	1829,7	52%
13,2	899,7	26%
9,5	459,8	13%
6,3		
Berat benda uji	M1	3500 gram
Total prosentase berat tertahan di atas 5 %	M2	3189,2 gram
Total berat lolos pada tes flakiness dari M2	M3 F	310,8 gram
Flakiness Index	$\frac{M3F \times 100}{M2}$	9,75 %

Contoh Perhitungan :

Diketahui :

$$M1 = 3500 \text{ gram}$$

$$M2 = 3189,2 \text{ gram}$$

$$M3F = 310,8 \text{ gram}$$

Maka

$$\text{Indeks kepipihan (\%)} = \frac{310,8 \times 100}{3189,2} = 9,75 \%$$

4.1.2.2. Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian Flakiness Index agregat kasar didapatkan nilai sebesar 9,75 %, maka agregat tersebut dapat digunakan. Syarat maksimum 10% (Tabel 2.2).

4.1.3. Penentuan Angka Angularitas (Angularity Number) (BS 812 : Part 1 : 1975)

4.1.3.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Angka Angularitas (Angularity Number)

Uraian		Berat (gram)
Berat silinder kosong	W1	3560
Berat silinder + air penuh	W2	6420
Berat air	C = W2 - W1	2860
Percobaan I		
Berat silinder + agregat	W3	8440
Berat agregat	W4 = W3 - W1	4880
Percobaan II		
Berat silinder + agregat	W5	8450
Berat agregat 2	W6 = W5 - W1	4890
Percobaan III		
Berat silinder + agregat 3	W7	8470
Berat agregat 3	W8 = W7 - W1	4910

Contoh Perhitungan :

$$\text{Angka angularitas} = 67 - \frac{100 \times M}{C \times G_a} = 67 - \frac{100 \times ((4880 + 4890 + 4910)/3)}{2860 \times 2,52} = 2,7$$

4.1.3.2. Hasil Pengujian

Angka Angularitas yang disarankan berkisar antara 0 – 12(Tabel 2.2). Hasil pengujian nilai yang didapat sebesar 2,7 berarti telah memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan jalan.

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

4.1.4.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat

Uraian		Berat (gram)
Berat silinder kosong	W1	7910
Berat silinder + air penuh	W2	17690
Berat air	C = W2 - W1	9780
Agregat lepas		
Berat silinder + agregat	W2	22610
Berat agregat	W3 = W2 - W1	14700
Agregat padat dengan tusukan		
Berat silinder + agregat	W2	23620
Berat agregat 2	W3 = W2 - W1	15710
Agregat padat dengan goyangan		
Berat silinder + agregat 3	W7	24080
Berat agregat 3	W8 = W7 - W1	16170

Berat isi agregat lepas	1,50
Berat isi agregat padat dengan tusukan	1,61
Berat isi agregat padat dengan goyangan	1,65
Rata-rata total berat isi	1,59

Contoh Perhitungan =

$$\text{Berat isi agregat lepas} = \frac{14700}{9780} = 1,50306 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Rata-rata total berat isi} = \frac{1,50306 + 1,60634 + 1,65337}{3} = 1,59 \text{ kg/dm}^3$$

4.1.4.2. Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian berat isi rongga udara, maka didapatkan :

$$\text{Berat isi agregat lepas} = 1,5030 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Berat isi agregat padat dengan tusukan} = 1,6063 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Berat isi agregat padat dengan goyangan} = 1,6534 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Rata-rata total berat isi} = 1,5876 \text{ kg/dm}^3$$

4.1.5. Analisa Saringan Agregat Halus Dan Kasar (AASHTO T-27-82)

(ASTM C-136-46)

4.1.5.1. Tabel Perhitungan

Prosentase berat benda uji yang tertahan dan yang lolos dihitung berdasarkan masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

Tabel. 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			Tertahan	Lolos
50,8 mm (2")	0	0	0	100
38,1 mm (1,5")	0	0	0	100
25,4 mm (1")	0	0	0	100
19,1 mm (3/4")	0	0	0	100
13,2 mm (1/2")	13580	13580	66.23	37.77
9,6 mm (3/8")	4930	18510	90.27	9.73
4,75 mm (No. 4)	1920	20430	99.64	0.36
2,38 mm (No. 8)	3.9	20433.90	99,66	0,34
1,19 mm (No. 16)	3	20436.90	99,67	0,33
0,59 mm (No. 30)	32,5	20469.40	99,83	0,17
0,279 mm (No. 50)	13,9	20483.30	99,90	0,10
0,15 mm (No. 100)	11,7	20495.00	99,96	0,04
0,075 mm (No. 200)	5,1	20500.00	99,98	0,02
p a n	4,1	20504.20	100	0
Total berat	20504.20			

Contoh Perhitungan =

Misalnya untuk saringan no. 1/2"

Prosen tertahan = (berat benda uji yang tertahan / berat total benda uji) x 100%

$$= (13580/20504.20) \times 100\% = 66.23 \%$$

Prosen lolos = 100 % - 66.23 % = 33.7697 %

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			Tertahan	Lolos
50,8 mm (2")	0	0	0	100
38,1 mm (1,5")	0	0	0	100
25,4 mm (1")	0	0	0	100
19,1 mm (3/4")	0	0	0	100
13,2 mm (1/2")	0	0	0	100
9,6 mm (3/8")	32,6	32,6	1,64	98,36
4,75 mm (No. 4)	1491	1523,6	76,6	23,4
2,38 mm (No. 8)	314,8	1838,4	92,42	7,58
1,19 mm (No. 16)	73,4	1911,8	96,11	3,89
0,59 mm (No. 30)	17	1928,8	96,97	3,03
0,279 mm (No. 50)	5,6	1934,4	97,25	2,75
0,15 mm (No. 100)	11,3	1945,7	97,82	2,18
0,075 mm (No. 200)	13,2	1958,9	98,48	1,52
p a n	30,2	1989,1	100	0
Total berat	1989,1			

Contoh Perhitungan =

Misalnya untuk saringan no. 3/8"

Prosen tertahan = (berat benda uji yang tertahan / berat total benda uji) x 100%

$$= (32,6/1989,1) \times 100\% = 1,64 \%$$

Prosen lolos = 100 % - 1,64 % = 98,36 %

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
50,8 mm (2")	0	0	0	100
38,1 mm (1,5")	0	0	0	100
25,4 mm (1")	0	0	0	100
19,1 mm (3/4")	0	0	0	100
13,2 mm (1/2")	0	0	0	100
9,6 mm (3/8")	6,2	6,2	0,59	99,41
4,75 mm (No. 4)	35,8	42	4	96
2,38 mm (No. 8)	61,4	103,4	9,85	90,15
1,19 mm (No. 16)	144,5	247,9	23,61	76,39
0,59 mm (No. 30)	221	468,9	44,66	55,34
0,279 mm (No. 50)	171	639,9	60,94	39,06
0,15 mm (No. 100)	285,1	925	88,1	11,9
0,075 mm (No. 200)	98,5	1023,5	97,48	2,52
p a n	26,5	1050	100	0
Total berat	1050			

Contoh Perhitungan =

Misalnya untuk saringan no. 3/8"

Prosen tertahan = (berat benda uji yang tertahan / berat total benda uji) x 100%

$$= (6,2/1050) \times 100\% = 0,59 \%$$

Prosen lolos = 100 % - 0,59 % = 99,41 %

4.1.5.2. Hasil Pengujian

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. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (AASHTO T-84-81)

4.1.6.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B_k	492,80	493,70	493,25
Berat contoh kering permukaan jenuh	B_j	500	500	500
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	666,70	661,70	664,20
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	B_t	981,60	976,30	978,95
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2,66	2,66	2,66
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,70	2,70	2,70
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,66	2,66	2,69
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	1,46%	1,28%	1,37%

Contoh Perhitungan

Sampel I

Berat contoh kering oven (B_k) = 492,8 gram

Berat contoh kering permukaan jenuh (B_j) = 500 gram

Berat piknometer berisi air (B) = 666,70 gram

Berat piknometer + contoh + air (B_t) = 981,60 gram

1. Berat jenis

$$492,80 / (666,70 + 500 - 981,60) = 2,66$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh

$$500 / (666,70 + 500 - 981,60) = 2,70$$

3. Berat jenis semu

$$492,80 / (666,70 + 492,80 - 981,60) = 2,66$$

4. Penyerapan

$$(500 - 492,80) / 492,80 \times 100\% = 1,46 \%$$

4.1.6.2. Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata :

Berat jenis (bulk specific gravity) = 2,66

Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) = 2,70

Berat jenis semu (apparent specific gravity) = 2,66

Penyerapan (absorpsi) = 1,37 %

Sehingga semuanya masuk syarat berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan maksimal 3% (Tabel 2.2).

4.1.7. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-85-81)

4.1.7.1. Hasil Penelitian

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B_k	4865	4872	4868,5
Berat contoh kering permukaan jenuh	B_j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B_a	3143,3	3100,3	3121,8
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,62	2,56	2,59
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,69	2,63	2,66
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,83	2,75	2,79
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,77%	2,63%	2,70%

Contoh perhitungan :

Sampel I

Berat contoh kering oven (B_k) = 4865 gram

Berat contoh kering permukaan jenuh (B_j) = 5000 gram

Berat piknometer + contoh + air (B_a) = 3143,3 gram

1. Berat jenis

$$4865 / (5000 - 3143,3) = 2,62$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh

$$5000 / (5000 - 3143,3) = 2,69$$

3. Berat jenis semu

$$4865 / (4865 - 3143,3) = 2,83$$

4. Penyerapan

$$(5000 - 4865) / 4865 \times 100\% = 2,77 \%$$

4.1.7.2. Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata :

Berat jenis (bulk specific gravity) = 2,59

Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) = 2,66

Berat jenis semu (apparent specific gravity) = 2,79

Penyerapan (absorpsi) = 2,70 %

Sehingga semuanya masuk syarat berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan maksimal 3 % (Tabel 2.2).



4.1.8. Pengujian Keausan Agregat Dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles (AASHTO T-96-77(1982))

4.1.8.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Keausan Agregat Dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 20 mm)	
Saringan		I	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah
76,20 Mm (3")	63,50 mm (2,5")		
63,50 Mm (2,5")	50,80 mm (2")		
50,80 Mm (2")	37,50 mm (1,5")		
37,50 Mm (1,5")	25,40 mm (1")		
25,40 Mm (1")	19,00 mm (3/4")		
19,00 Mm (3/4")	12,50 mm (1/2")		
12,50 Mm (1/2")	9,50 mm (3/8")	2500	
9,50 Mm (3/8")	6,30 mm (1/4")	2500	
6,30 Mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)		3410
4,75 Mm (No. 4)	2,38 mm (No. 8)		
Jumlah berat		5000	
Berat tertahan saringan no 12			746,5

A	Berat benda uji semula	5000	Gram
B	Berat benda uji tertahan s/d saringan No.12	4156,5	Gram
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	16,87 %	

Contoh perhitungan :

Benda uji semula (a) = 5000 gram

Berat benda uji tertahan s/d saringan No. 12 (b) = 4156,5 gram

Nilai keausan = (5000 – 4156,5) / 5000 x 100 % = 16,87 %

4.1.8.2. Hasil Pengujian

Hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin Abrasi Los Angeles didapatkan nilai sebesar 16.87%, maka agregat tersebut memenuhi persyaratan keausan agregat 40% (Tabel 2.2).

4.2. Hasil Pemeriksaan Aspal

4.2.1. Pemeriksaan Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen (AASHTO T-49-80) (ASTM D-5-71)

4.2.1.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen Sebelum Kehilangan Berat

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	77	78	80	80	82
Benda uji II	78	79	79	80	81
Rata-rata	79				

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen Setelah Kehilangan Berat

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	73	74	75	75	77
Benda uji II	72	72	74	74	76
Rata-rata	74				

4.2.1.2. Hasil Pengujian

1. Hasil Pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 79
2. Hasil Pengujian penetrasi aspal setelah kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 74

3. Maka dari kedua pengujian tersebut memenuhi syarat Depkimpraswil 2002 (Tabel 2.4).

- a. Syarat penetrasi sebelum kehilangan berat minimum 60 maksimum 79(Tabel 2.4).
- b. Syarat penetrasi setelah kehilangan berat minimum 75% terhadap penetrasi sebelum kehilangan berat(Tabel 2.4).

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

4.2.2.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar

°C di bawah titik nyala	Waktu	°C	Titik Nyala
56	15.14	284	
51	15.16	289	
46	15.17	294	
41	15.19	299	
36	15.21	304	Titik Nyala
31	15.23	307	Titik Bakar
26			
21			
16			
11			
6			
1			

4.2.2.2. Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian, titik nyala didapat sebesar 304°C, dan titik bakar didapat sebesar 307°C. Bahan tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk titik nyala yaitu minimum 200°C (Tabel 2.4).

4.2.3. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Dan Ter (AASHTO T-53-89)

4.2.3.1. Tabel Pengujian

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		18.00	18.00		
5		18.15	18.15		
10		18.18	18.18		
15		18.23	18.23		
20		18.26	18.26		
25		18.27	18.27		
30		18.29	18.29		
35		18.31	18.31		
40		18.32	18.32		
45		18.34	18.34	49	
50		18.35	18.35		51
55					

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Setelah Kehilangan Berat

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		19.34	19.34		
5		19.38	19.38		
10		19.39	19.39		
15		19.43	19.43		
20		19.45	19.45		
25		19.47	19.47		
30		19.47	19.47		
35		19.49	19.49		
40		19.50	19.50		
45		19.51	19.51		
50		19.53	19.53	51	52
55					

4.2.3.2. Hasil Pengujian

- a. Hasil pengamatan titik lembek aspal sebelum kehilangan berat adalah 49°C dan 50°C (Tabel 2.4).
- b. Hasil pengamatan titik lembek aspal setelah kehilangan berat adalah 51°C dan 52°C (Tabel 2.4).

4.2.4. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen (AASHTO T-51-81)

4.2.4.1. Tabel Pengujian

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Pengamatan	1	2
Pembacaan	122 cm	125 cm
Rata-rata	123,5 cm	

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat

Pengamatan	1	2
Pembacaan	120 cm	122 cm
Rata-rata	121 cm	

4.2.4.2. Hasil Penelitian

1. Hasil pemeriksaan daktilitas aspal sebelum dan sesudah kehilangan berat didapatkan nilai rata-rata sebesar 123,5 cm dan 121 cm.
2. Kedua daktilitas tersebut memenuhi syarat Depkimpraswil 2002 yaitu minimum 100 cm (Tabel 2.4)

4.2.5. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen Keras Dan Ter (AASHTO T-226-79)

4.2.5.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.18 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

	Sampel I	Sampel II
Berat piknometer + air	37	37
Berat piknometer	11,3	11,3
Berat air (= isi piknometer)	25,7	25,7
Berat piknometer + contoh	29,7	28,7
Berat piknometer	11,3	11,3
Berat contoh	18,4	17,1
Berat pikno + air + contoh	37,9	37,7
Berat piknometer + contoh	29,7	28,4
Berat air	8,2	9,3
Isi bitumen	17,4	21,9
Berat Jenis :		
Berat contoh		
Berat air sebanyak isi bitumen	1,05	1,04

Contoh Perhitungan :

Berat piknometer (A) = 11,3 gram

Berat piknometer berisi air (B) = 37 gram

Berat piknometer berisi aspal (C) = 29,7 gram

Berat piknometer berisi aspal dan air (D) = 37,9 gram

$$BJ = \frac{(29,7 - 11,3)}{(36,9 - 11,3) - (37,9 - 29,7)} = 1,05$$

4.2.5.2. Hasil Pengujian

Hasil pemeriksaan berat jenis aspal pada sampel I didapatkan 1,05 dan pada sampel II didapatkan 1,04. Dari hasil pemeriksaan tersebut telah memenuhi persyaratan untuk pemeriksaan berat jenis aspal yang ditentukan yaitu minimum 1 (Tabel 2.4).

4.2.6. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak Dan Aspal

(AASHTO T-47-82)

4.2.6.1. Tabel Perhitungan

Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal

	Sampel I	Sampel II	Sampel II
Berat cawan + aspal keras	74,9	75,1	74,2
Berat cawan kosong	13,3	13,5	13,3
Berat aspal keras	61,6	61,6	60,9
Berat sebelum pemanasan	74,9	75,1	74,2
Berat sesudah pemanasan	74,7	75,1	74
Kehilangan berat	0,2	0	0,2
Kehilangan berat dlm %	0,267	0	0,270
Rata-rata (%)	0,179		

Contoh perhitungan :

Pada Sampel I

A = 74,9 gram

B = 74,7 gram

$$\text{Penurunan berat} = \frac{74,9 - 74,7}{74,9} \times 100\% = 0,267\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{(0,149 + 0,296 + 0,287)}{3} \times 100\% = 0,179\%$$

4.2.6.2. Hasil Pengujian

Hasil pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal didapatkan nilai sebesar

0,179 %, maka aspal tersebut memenuhi persyaratan yaitu maksimum 0,4 %

(Tabel 2.4).

Tabel 4.20 Rekapitulasi Pengujian Agregat

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Persyaratan
1	AIV	9,91 %	Maks 30 %
2	Indeks Kepipihan	9,75 %	Maks 10 %
3	Anggulariti Number	2,7	0-12
4	Berat Isi Agregat	1,59 kg/dm ³	
5	Berat Jenis Agregat Halus	2,66	Min 2,5
6	Penyerapan Agregat Halus	1,37 %	Maks 3%
7	Berat Jenis Agregat Kasar	2,79	Min 2,5
8	Penyerapan Agregat Kasar	2,7 %	Maks 3%
9	Abrasi Los Angeles	16,87%	Maks 40%

Tabel 4.21 Rekapitulasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Persyaratan
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Berat	79	79
2	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	74	Min 75% dari penetrasi awal
3	Titik Nyala	304 ⁰ C	Min 200 ⁰ C
4	Titik bakar	307 ⁰ C	
5	Titik Lembek Sebelum Kehilangan Berat	49 ⁰ C	48-50 ⁰ C
6	Titik Lembek Setelah Kehilangan Berat	51 ⁰ C	
7	Daktilitas Sebelum Kehilangan Berat	123,5 cm	Min 100 cm
8	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	121 cm	Min 100 cm
9	Berat Jenis	1,04	Min 1
10	Penurunan Berat	0,18%	0,4%

4.3. Perencanaan komposisi Campuran

4.3.1. Perhitungan Prosentase Agregat dengan Metode Grafis

Setelah dilakukan pemeriksaan dan analisa gradasi untuk mengetahui

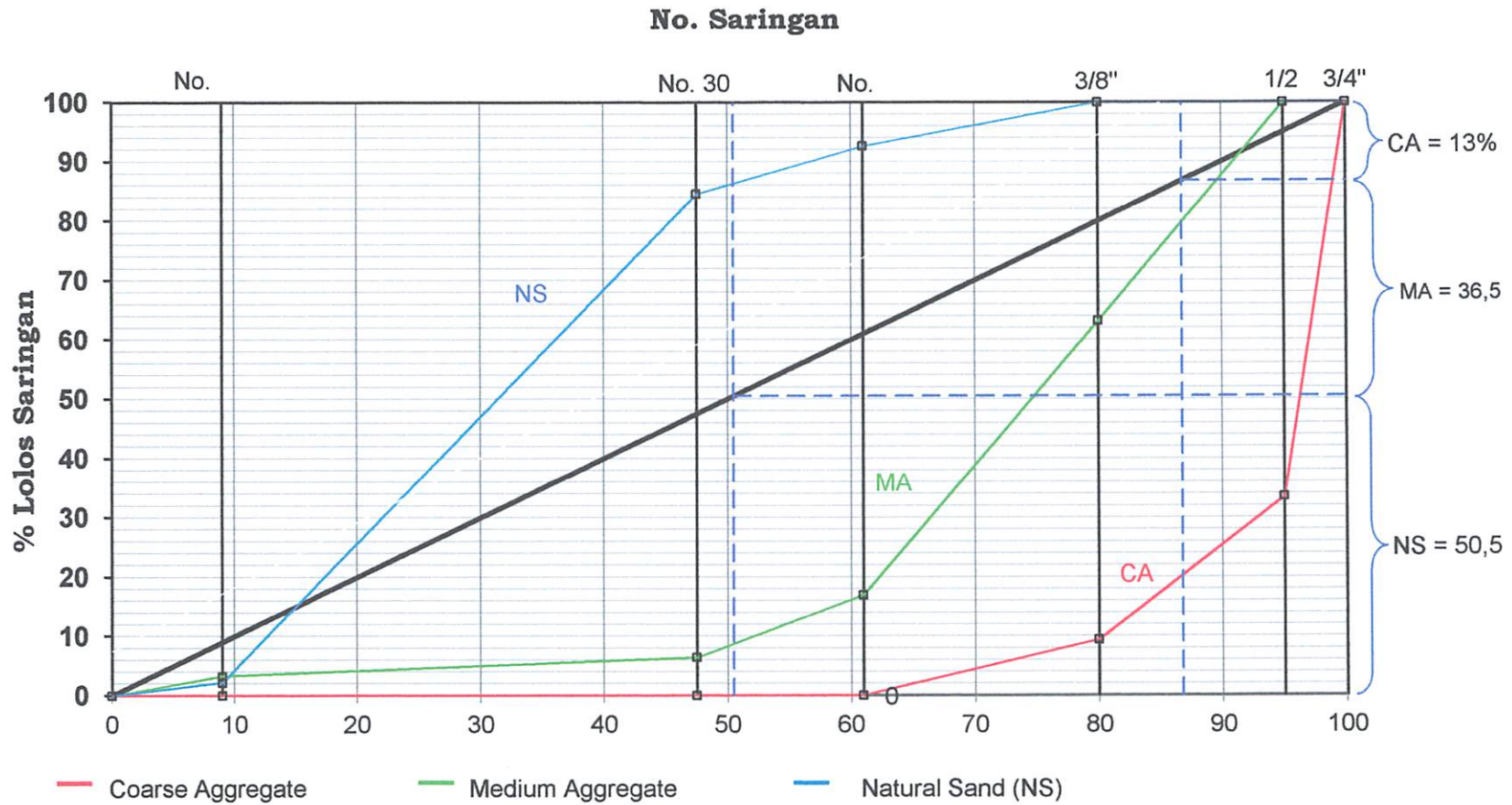
berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing-masing saringan,

maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan

Metode Grafis tipe A seperti pada grafik 4.1. Berikut cara menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat.

1. Proporsi dari agregat kasar ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat kasar = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat sedang. Nilai proporsi agregat kasar ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan tepi atas. Pada grafik 4.1., jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi agregat sedang adalah a , yang sama panjang dengan jarak dari garis gradasi fraksi agregat kasar ke tepi bawah.
2. Proporsi dari agregat halus, ditentukan dengan menarik garis vertical sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat halus = jarak dari tepi atas ke garis gradasi agregat kasar ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi agregat sedang. Pada grafik 4.1., jarak dari tepi atas ke garis gradasi fraksi agregat halus adalah x , yang sama panjang dengan jarak dari garis gradasi fraksi agregat kasar ke tepi bawah, c , ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi fraksi agregat sedang, b . Jadi $x = b + c$.
3. Nilai proporsi agregat halus ditunjukkan oleh besarnya persen lolos yang diperoleh dari perpotongan garis vertikal tersebut dengan garis gradasi tengah spesifikasi agregat campuran dengan tepi bawah. Proporsi agregat sedang adalah 100% dikurangi proporsi agregat kasar dan dikurangi proporsi agregat halus.

Grafik 4.1. Pencampuran 3 Fraksi agregat dengan metode Rotchluchs tipe A



Hasil dari plot grafik diagram diagonal didapat nilai agregat kasar (CA) 13 %, agregat sedang (MA) 36,5 %, agregat halus (NS) 50,5 % dan filler (FF) 6%.

4.3.2. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal

Variasi kadar aspal berdasarkan Depkimpraswil 2002 dengan menggunakan rumus : $P = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K$

Dengan :

P = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

CA = Fraksi agregat kasar = Persen berat material yang tertahan saringan no. 8 terhadap total campuran

FA = Fraksi agregat halus = Persen berat material yang lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200 terhadap berat total pencampuran

Filler = Fraksi bahan pengisi = Persen berat material yang lolos saringan no. 200 terhadap berat total.

K = Konstanta (2,0-3,0)

Berdasarkan rumus di atas, pada penelitian campuran Asfalt Concrete ini didapat nilai aspal tengah :

$$P = 0,035(13\%+36,5\%) + 0,045(50,5\%) + 0,18(6\%) + 2$$

$$= 6,8447 \%$$

Kadar aspal yang diperoleh dibulatkan menjadi 7 %. Jika kadar aspal tengah a% maka digunakan variasi (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)% dan (a+1)%, untuk mencari kadar aspal optimum dengan aspal tengah 6 % dibuat benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yaitu : 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%

Tabel 4.22 Gradasi Agregat

ukuran saringan	CA	MA	NS	FF	CA	MA	NS	FF	Total	spek
	%lolos	%lolos	%lolos	100,00	12,22	34,31	47,47	6,00		
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	12,22	34,31	47,47	6,00	100,00	100
1/2"	33,56	100,00	100,00	100,00	4,10	34,31	47,47	6,00	91,88	90-100
3/8"	9,43	63,24	100,00	100,00	1,15	21,70	47,47	6,00	76,32	75-85
No.8	0,04	16,97	92,65	100,00	0,00	5,82	43,98	6,00	55,81	50-72
No.30	0,02	6,41	84,56	100,00	0,00	2,20	40,14	6,00	48,34	35-60
No.200	0,00	3,24	2,18	100,00	0,00	1,11	1,04	6,00	8,15	6-12
pan	0,00	0,00	0,00	100,00						

Contoh Perhitungan :

$$CA = 13 - ((13/100) \times 6) = 12,22 \%$$

$$CA = (12,12/100) \times 33,56 = 4,10 \%$$

$$MA = 36,50 - ((36,50/100) \times 6) = 34,31 \%$$

$$MA = (34,31/100) \times 63,24 = 21,70 \%$$

$$NS = 50,50 - ((50,50/100) \times 6) = 47,47 \%$$

$$NS = (47,47/100) \times 92,65 = 43,98 \%$$

4.3.3. Perhitungan Berat Agregat

Tabel 4.23 Perhitungan Berat Agregat Setiap Variasi Kadar Aspal

Persentase Aspal(%)	Mix Desain HRS-WC (gram)				
	6	6,5	7	7,5	8
CA	137,84	137,11	136,38	135,64	134,91
MA	387,02	384,96	382,90	380,84	378,78
NS	535,46	532,61	529,77	526,92	524,07
FF	67,68	67,32	66,96	66,60	66,24
Aspal	72	78	84	90	96
Total	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Contoh Perhitungan :

Aspal	= 6% x 1200	= 72	gram
Total Agregat	= 1200 - 72	= 1128	gram
CA	= 12,22 % x 1128	= 137,84	gram
MA	= 34,31% x 1128	= 387,02	gram
NS	= 47,47% x 1128	= 535,46	gram
FF	= 6% x 1128	= 67,68	gram
Total		= 1200	gram

4.4. Marshall Test

4.4.1. Hasil Pengujian

Hasil Marshall Test didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

- a. Stabilitas (Kg)
- b. Flow (mm)
- c. Prosentase rongga terhadap campuran VIM (%)
- d. Prosentase rongga dalam agregat VMA (%)
- e. Marshall Quotient (Kg/mm)
- f. Index Perendaman (%)

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

Dari data-data tersebut diatas, selanjutnya dibuat grafik-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 Marshall Quotient (kg/mm).
- f. Prosentase Aspal (%) terhadap Index Perendaman (%).

4.4.2. Data Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian Marshall dihitung menggunakan software Microsoft Excel XP dan hasilnya ditabelkan. Data – data ditampilkan dalam tabel hasil uji test Marshall sebagai berikut.

Keterangan Tabel :

Kadar Aspal = 6%

Nomor Benda Uji = 1

BJ agregat = 2,59

BJ aspal = 1,04

a = Diameter (cm)

= 10,20 cm

b = Tinggi 1 (cm)

= 7,00 cm

c = Tinggi 2 (cm)

= 7,00 cm



d = Tinggi 3 (cm)

$$= 6,95 \text{ cm}$$

e = Tinggi rata-rata (cm) = $\left(\frac{b+c+d}{3}\right) \times 10$

$$= \frac{7,00 + 7,00 + 6,95}{3} \times 10$$

$$= 69,82 \text{ mm}$$

f = % aspal terhadap agregat = $\frac{\% \text{ aspal} \times 12}{1200 - \% \text{ Aspal} \times 12} \times 100$

$$= \frac{6 \times 12}{1200 - 6 \times 12} \times 100$$

$$= 6,38 \%$$

g = % aspal terhadap campuran

$$= 6 \%$$

h = Berat sampel (gram)

$$= 1185,4 \text{ gram}$$

i = Berat SSD (gram)

$$= 1191,9 \text{ gram}$$

j = Berat dalam air (gram)

$$= 631,7 \text{ gram}$$

k = Isi (gram) = i - j

$$= 1191,9 - 631,7$$

$$= 560,20 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 l &= \text{Berat isi} = \frac{h}{k} \\
 &= \frac{11854}{560,2} \\
 &= 2,116
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \text{Berat jenis maksimum teoritis} = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ aspal}}} \\
 &= \frac{100}{\frac{13 \times (100 - 6) / 100}{2,59} + \frac{36,5 \times (100 - 6) / 100}{2,59} + \frac{50,5 \times (100 - 6) / 100}{2,66} + \frac{6}{1,04}} \\
 &= 2,405
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{g \times l}{BJ \text{ aspal}} \\
 &= \frac{6 \times 2,116}{1,04} \\
 &= 12,208
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 o &= \frac{(100 - g) \times 1}{BJ \text{ Agregat}} \\
 &= \frac{(100 - 6) \times 2,116}{2,625} \\
 &= 75,774
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \text{Jumlah kandungan rongga (\%)} = 100 - n - o \\
 &= 100 - 12,208 - 75,774 \\
 &= 12,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= \% \text{ rongga terhadap agregat VMA} = 100 - o \\
 &= 100 - 75,774 \\
 &= 24,226
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r &= \% \text{ rongga terisi aspal VFB} = \frac{100 \times n}{q} \\
 &= \frac{100 \times 12,208}{24,226} \\
 &= 50,392
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \% \text{ rongga dalam campuran VIM} = 100 - \left[100 \times \left(\frac{l}{m} \right) \right] \\
 &= 100 - \left[100 \times \left(\frac{2,116}{2,405} \right) \right] \\
 &= 12,015
 \end{aligned}$$

t = Masuk Waterbath (jam)

u = Test (jam)

v = Pembacaan arloji stabilitas
= 123

w = dari tabel lampiran kalibrasi didapat regresi dari nilai v = 123 \approx 3650,78 lbf

x = w x 0,44482 (kg)
= 3650,78 x 0,44482
= 1623,94 kg

y = Angka koreksi (tebal), didapat dari tabel lampiran angka koreksi secara regresi ; e = 69,82 \approx 0,835

z = Stabilitas (kg ; dengan koreksi benda uji) = x x y

$$= 1623,94 \times 0,835$$

$$= 1355,73 \text{ kg}$$

$$aa = 2,2 \text{ mm}$$

$$ab = \text{Marshall Quotient} = z/aa \text{ (kg/mm)}$$

$$= \frac{1355,73}{2,2}$$

$$= 616,24 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.24 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,20	10,21	10,24	10,20	10,22	10,21	10,24	10,21	10,24	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	7,00	7,07	7,09	6,99	6,95	7,00	6,96	6,94	6,99	7,00
c	Tinggi 2 (cm)	7,00	7,00	7,01	6,98	6,96	7,00	6,91	6,94	7,00	7,03
d	Tinggi 3 (cm)	6,95	6,93	6,99	6,98	6,95	7,01	6,88	6,96	6,98	7,01
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,82	69,98	70,28	69,82	69,50	70,02	69,17	69,47	69,88	70,13
f	% aspal thd agregat	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
g	% aspal thd campuran	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
h	Berat sampel (gram)	1185,4	1184,5	1192,6	1191,7	1191,1	1190,2	1192,4	1188,4	1187,6	1191,6
I	Berat SSD (gram)	1191,9	1190,0	1198,9	1197,5	1196,7	1195,7	1197,8	1193,3	1193,8	1196,5
j	Berat dalam air (gram)	631,7	623,2	625,6	631,3	629,7	627,4	632,1	627,6	620,3	627,1
k	Isi (gram)	560,20	566,80	573,30	566,20	567,00	568,30	565,70	565,70	573,50	569,40
l	Berat isi	2,116	2,090	2,080	2,105	2,101	2,094	2,108	2,101	2,071	2,093
m	BJ maksimum teoritis	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405
n	(g*I)/bj aspal	12,208	12,057	12,001	12,143	12,119	12,083	12,161	12,120	11,947	12,073
o	((100-g)*I)/bj agregat	75,774	74,835	74,492	75,369	75,225	74,996	75,480	75,227	74,154	74,940
p	Jumlah kandungan rongga (%)	12,018	13,11	13,51	12,49	12,66	12,92	12,36	12,65	13,90	12,99
q	% rongga thd agregat VMA	24,226	25,165	25,508	24,631	24,775	25,004	24,520	24,773	25,846	25,060
r	% rongga terisi aspal	50,392	47,910	47,050	49,299	48,919	48,324	49,595	48,924	46,224	48,177
s	% rongga dlm campuran VIM	12,015	13,105	13,503	12,484	12,652	12,918	12,356	12,650	13,896	12,984
t	Jam Masuk waterbath	13:45	13:50	13:55	14:00	14:05	14:10	14:15	14:20	14:25	14:30
u	Jam Test	14:15	14:20	14:25	14:30	14:35	14:40	14:45	14:50	14:55	15:00
v	Pembacaan arloji stabilitas	123	98	117	123	120	144	130	167	120	132
w	Lbf	3650,78	2917,12	3475,09	3650,78	3562,97	4263,72	3855,43	4931,54	3562,97	3913,84
x	Kg	1623,94	1297,59	1545,79	1623,94	1584,88	1896,59	1714,97	2193,65	1584,88	1740,96
y	koreksi (tebal)	0,835	0,831	0,823	0,835	0,843	0,830	0,851	0,844	0,833	0,827
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1355,73	1077,92	1272,85	1355,73	1335,79	1573,96	1460,17	1850,75	1320,50	1439,85
aa	Flow	2,2	2,2	2,3	2,3	2,1	2,8	2,6	3,1	2,1	1,8
ab	Marshall Quotient	616,24	489,97	553,41	589,45	636,09	562,13	561,60	597,02	644,14	799,92

Tabel 4.25 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,23	10,23	10,23	10,26	10,22	10,34	10,23	10,19	10,41	10,19
b	Tinggi 1 (cm)	6,92	6,96	6,85	6,99	7,40	6,95	6,86	6,96	6,94	6,92
c	Tinggi 2 (cm)	6,89	6,99	6,84	6,89	6,99	6,99	6,84	7,00	6,99	6,97
d	Tinggi 3 (cm)	6,91	7,00	6,83	6,90	6,97	7,10	6,83	6,91	7,08	6,96
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,07	69,83	68,40	69,25	71,20	70,13	68,43	69,57	70,03	69,47
f	% aspal thd agregat	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95
g	% aspal thd campuran	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
h	Berat sampel (gram)	1188,4	1191,5	1186,2	1192,8	1190,6	1189,1	1188,4	1183,5	1183,7	1190,6
I	Berat SSD (gram)	1194,0	1197,7	1191,0	1197,5	1195,7	1196,2	1193,4	1187,5	1189,3	1196,0
j	Berat dalam air (gram)	631,8	626,9	626,6	627,2	618,3	613,6	628,5	620,4	624,1	632,4
k	Isi (gram)	562,20	570,80	564,40	570,30	577,40	582,60	564,90	567,10	565,20	563,60
l	Berat isi	2,114	2,087	2,102	2,092	2,062	2,041	2,104	2,087	2,094	2,112
m	BJ maksimum teoritis	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388
n	(g*I)/bj aspal	13,211	13,046	13,136	13,072	12,888	12,756	13,148	13,043	13,089	13,203
o	((100-g)*I)/bj agregat	75,293	74,352	74,861	74,498	73,447	72,699	74,933	74,335	74,597	75,245
p	Jumlah kandungan rongga (%)	11,50	12,60	12,00	12,43	13,67	14,54	11,92	12,62	12,31	11,55
q	% rongga thd agregat VMA	24,707	25,648	25,139	25,502	26,553	27,301	25,067	25,665	25,403	24,755
r	% rongga terisi aspal	53,472	50,867	52,251	51,260	48,534	46,726	52,453	50,821	51,527	53,335
s	% rongga dlm campuran VIM	11,492	12,598	12,000	12,426	13,663	14,541	11,915	12,619	12,310	11,549
t	Jam Masuk waterbath	14:30	14:35	14:40	14:45	14:50	14:55	15:00	15:05	15:10	15:15
u	Jam Test	15:00	15:05	15:10	15:15	15:20	15:25	15:30	15:35	15:40	15:45
v	Pembacaan arloji stabilitas	113	85	160	135	140	142	148	122	102	141
w	Lbf	3357,83	2533,90	4728,68	4001,41	4147,21	4205,48	4380,13	3621,52	3034,79	4176,34
x	Kg	1493,63	1127,13	2103,41	1779,91	1844,76	1870,68	1948,37	1610,92	1349,94	1857,72
y	koreksi (tebal)	0,854	0,834	0,872	0,849	0,803	0,827	0,871	0,841	0,829	0,844
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1275,61	940,51	1833,46	1511,61	1480,89	1547,14	1696,58	1355,01	1119,75	1567,34
aa	Flow	1,6	2,4	2,9	2,7	2,6	2,2	2,4	2,2	2,5	2,3
ab	Marshall Quotient	797,25	391,88	632,23	559,85	569,57	703,24	706,91	615,91	447,90	681,45

Tabel 4.26 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		7 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,24	10,29	10,20	10,20	10,25	10,22	10,22	10,24	10,21	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,88	6,99	6,86	6,89	6,86	6,90	6,71	6,84	6,82	6,87
c	Tinggi 2 (cm)	6,81	6,98	6,88	6,94	6,88	6,92	6,70	6,80	6,81	6,90
d	Tinggi 3 (cm)	6,85	7,00	6,85	6,96	6,85	6,90	6,67	6,83	6,83	6,85
e	Tinggi rata-rata (mm)	68,47	69,88	68,62	69,30	68,62	69,05	66,93	68,23	68,20	68,73
f	% aspal thd agregat	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53
g	% aspal thd campuran	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
h	Berat sampel (gram)	1186,5	1191,7	1190,4	1194,1	1193,9	1178,4	1194,3	1192,9	1192,1	1190,1
I	Berat SSD (gram)	1195,2	1201,7	1198,4	1204,9	1203,2	1187,0	1201,3	1201,8	1200,3	1198,6
j	Berat dalam air (gram)	639,8	630,2	633,1	639,4	637,9	618,1	646,2	638,5	639,6	631,3
k	Isi (gram)	555,40	571,50	565,30	565,50	565,30	568,90	555,10	563,30	560,70	567,30
l	Berat isi	2,136	2,085	2,106	2,112	2,112	2,071	2,152	2,118	2,126	2,098
m	BJ maksimum teoritis	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372
n	(g*1)/bj aspal	14,379	14,035	14,174	14,213	14,215	13,942	14,481	14,254	14,310	14,120
o	((100-g)*1)/bj agregat	75,686	73,876	74,605	74,810	74,824	73,386	76,225	75,027	75,324	74,323
p	Jumlah kandungan rongga (%)	9,94	12,09	11,22	10,98	10,96	12,67	9,29	10,72	10,37	11,56
q	% rongga thd agregat VMA	24,314	26,124	25,395	25,190	25,176	26,614	23,775	24,973	24,676	25,677
r	% rongga terisi aspal	59,138	53,725	55,812	56,422	56,464	52,385	60,909	57,077	57,994	54,991
s	% rongga dlm campuran VIM	9,932	12,085	11,218	10,974	10,957	12,669	9,291	10,716	10,362	11,553
t	Jam Masuk waterbath	10:55	11:00	11:05	11:10	11:15	11:20	11:25	11:30	11:35	11:40
u	Jam Test	11:25	11:30	11:35	11:40	11:45	11:50	11:55	12:00	12:05	12:10
v	Pembacaan arloji stabilitas	125	178	155	133	127	135	120	89	124	140
w	Lbf	3709,29	5249,64	4583,57	3943,04	3767,77	4001,41	3562,97	2651,94	3680,04	4147,21
x	Kg	1649,96	2335,15	2038,86	1753,94	1675,98	1779,91	1584,88	1179,64	1636,95	1844,76
y	koreksi (tebal)	0,870	0,833	0,866	0,848	0,866	0,854	0,911	0,876	0,877	0,863
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1435,27	1945,61	1765,43	1487,29	1451,21	1520,87	1444,11	1033,50	1435,63	1591,65
aa	Flow	2,1	2,1	2,5	1,6	2,2	2,5	4,8	1,2	2,8	2,5
ab	Marshall Quotient	683,46	949,08	706,17	929,56	659,64	620,76	300,86	861,25	522,05	649,65

Tabel 4.27 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		7,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,19	10,25	10,22	10,15	10,19	10,23	10,27	10,22	10,24	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,80	6,73	6,76	6,77	6,75	6,70	6,86	6,83	6,80	6,82
c	Tinggi 2 (cm)	6,77	6,82	6,74	6,77	6,75	6,80	6,82	6,77	6,81	6,86
d	Tinggi 3 (cm)	6,78	6,77	6,81	6,74	6,83	6,74	6,78	6,78	6,78	6,75
e	Tinggi rata-rata (mm)	67,80	67,73	67,70	67,58	67,75	67,43	68,17	67,92	67,92	68,07
f	% aspal thd agregat	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11
g	% aspal thd campuran	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
h	Berat sampel (gram)	1185,3	1192,1	1188,6	1186,1	1194,2	1184,3	1182,4	1185,7	1189,2	1189,5
I	Berat SSD (gram)	1194,5	1201,1	1196,8	1195,3	1201,1	1194,2	1191,6	1195,3	1200,0	1199,1
j	Berat dalam air (gram)	640,3	643,6	641,1	634,5	646,7	636,3	627,0	638,3	640,9	637,2
k	Isi (gram)	554,20	557,5	555,7	560,8	554,4	557,9	564,6	557	559,1	561,9
l	Berat isi	2,139	2,138	2,139	2,115	2,154	2,123	2,094	2,129	2,127	2,117
m	BJ maksimum teoritis	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
n	(g*1)/bj aspal	15,424	15,420	15,425	15,253	15,534	15,309	15,103	15,351	15,339	15,266
o	((100-g)*1)/bj agregat	75,366	75,349	75,372	74,529	75,904	74,803	73,797	75,012	74,951	74,596
p	Jumlah kandungan rongga (%)	9,21	9,230	9,203	10,218	8,562	9,889	11,101	9,636	9,710	10,137
q	% rongga thd agregat VMA	24,634	24,651	24,628	25,471	24,096	25,197	26,203	24,988	25,049	25,404
r	% rongga terisi aspal	62,611	62,556	62,631	59,882	64,468	60,755	57,636	61,436	61,236	60,095
s	% rongga dlm campuran VIM	9,207	9,227	9,200	10,215	8,558	9,885	11,098	9,633	9,707	10,134
t	Jam Masuk waterbath	11:45	11:50	11:55	12:00	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30
u	Jam Test	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00
v	Pembacaan arloji stabilitas	121	133	117	105	92	118	130	131	128	160
w	Lbf	3592,25	3943,04	3475,09	3122,98	2740,39	3504,39	3855,43	3884,64	3796,99	4728,68
x	Kg	1597,90	1753,94	1545,79	1389,16	1218,98	1558,82	1714,97	1727,97	1688,98	2103,41
y	koreksi (tebal)	0,888	0,890	0,890	0,894	0,889	0,898	0,878	0,885	0,885	0,881
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1418,58	1560,26	1376,49	1241,39	1083,83	1399,32	1505,59	1528,61	1494,12	1852,25
aa	Flow	2,7	3,8	2,7	2,2	2,4	2,2	2,9	2,5	2,6	2,7
ab	Marshall Quotient	525,40	410,59	509,81	564,27	451,59	636,05	519,17	611,44	574,66	686,02

Tabel 4.28 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 8% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		8 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,22	10,21	10,23	10,2	10,22	10,2	10,21	10,265	10,235	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,73	6,66	6,56	6,66	6,7	6,69	6,9	6,67	6,585	6,62
c	Tinggi 2 (cm)	6,72	6,69	6,595	6,6	6,67	6,655	6,84	6,67	6,57	6,62
d	Tinggi 3 (cm)	6,70	6,695	6,63	6,63	6,675	6,7	6,87	6,65	6,605	6,63
e	Tinggi rata-rata (mm)	67,17	66,82	65,95	66,30	66,82	66,82	68,70	66,63	65,87	66,23
f	% aspal thd agregat	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
g	% aspal thd campuran	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
h	Berat sampel (gram)	1180,1	1188,3	1193,0	1190,9	1187,4	1182,9	1190,4	1185,0	1189,0	1193,0
I	Berat SSD (gram)	1187,8	1194,9	1199,4	1198,0	1194,4	1190,5	1199,9	1191,1	1194,9	1200,2
j	Berat dalam air (gram)	649,6	655,2	663,1	655,2	650,3	646,3	641,9	645,6	656,7	654,7
k	Isi (gram)	538,2	539,7	536,3	542,8	544,1	544,2	558	545,5	538,2	545,5
l	Berat isi	2,193	2,202	2,225	2,194	2,182	2,174	2,133	2,172	2,209	2,187
m	BJ maksimum teoritis	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340
n	(g*1)/bj aspal	16,867	16,937	17,112	16,877	16,787	16,720	16,410	16,710	16,994	16,823
o	((100-g)*1)/bj agregat	76,848	77,167	77,963	76,894	76,485	76,181	74,768	76,135	77,428	76,649
p	Jumlah kandungan rongga (%)	6,285	5,896	4,925	6,229	6,728	7,098	8,821	7,155	5,578	6,528
q	% rongga thd agregat VMA	23,152	22,833	22,037	23,106	23,515	23,819	25,232	23,865	22,572	23,351
r	% rongga terisi aspal	72,853	74,177	77,651	73,042	71,389	70,198	65,038	70,018	75,287	72,043
s	% rongga dlm campuran VIM	6,282	5,893	4,922	6,225	6,724	7,095	8,818	7,152	5,575	6,525
t	Jam Masuk waterbath	11:40	11:45	11:50	11:55	12:00	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25
u	Jam Test	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55
v	Pembacaan arloji stabilitas	115	101	77	128	134	109	91	98	114	117
w	Lbf	3416,48	3005,38	2297,50	3796,99	3972,22	3240,46	2710,92	2917,12	3387,16	3475,09
x	Kg	1519,72	1336,85	1021,97	1688,98	1766,92	1441,42	1205,87	1297,59	1506,68	1545,79
y	koreksi (tebal)	0,905	0,914	0,938	0,928	0,914	0,914	0,864	0,919	0,940	0,930
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1375	1222	958	1568	1616	1318	1041	1193	1416	1438
aa	Flow	2,5	2,0	2,7	2,8	2,1	3,4	2,4	2,9	5,8	2,7
ab	Marshall Quotient	550,07	611,16	354,89	559,91	769,31	387,63	433,95	418,54	244,14	532,45

Tabel 4.29 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,21	10,20	10,21	10,21	10,20	10,22	10,23	10,20	10,22	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,92	7,05	6,93	6,86	6,95	6,80	6,80	6,85	6,86	6,86
c	Tinggi 2 (cm)	6,88	7,05	6,94	6,86	6,94	6,81	6,78	6,87	6,83	6,84
d	Tinggi 3 (cm)	6,90	7,08	6,90	6,88	6,93	6,83	6,75	6,92	6,86	6,87
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,05	70,58	69,23	68,67	69,40	68,15	67,77	68,80	68,48	68,55
f	% aspal thd agregat	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
g	% aspal thd campuran	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
h	Berat sampel (gram)	1184,2	1186,5	1185,3	1190,1	1188,1	1190,1	1189,0	1191,6	1192,0	1191,4
I	Berat SSD (gram)	1189,7	1190,5	1190,0	1195,2	1192,3	1195,0	1194,2	1197,2	1197,6	1196,5
j	Berat dalam air (gram)	631,4	618,2	629,0	634,8	626,7	631,4	635,4	632,9	638,3	631,8
k	Isi (gram)	558,30	572,30	561,00	560,40	565,60	563,60	558,80	564,30	559,30	564,70
l	Berat isi	2,121	2,073	2,113	2,124	2,101	2,112	2,128	2,112	2,131	2,110
m	BJ maksimum teoritis	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405	2,405
n	(g*1)/bj aspal	12,237	11,961	12,189	12,252	12,119	12,182	12,276	12,183	12,296	12,172
o	((100-g)*1)/bj agregat	75,955	74,241	75,660	76,047	75,222	75,616	76,195	75,617	76,319	75,551
p	Jumlah kandungan rongga (%)	11,808	13,80	12,15	11,70	12,66	12,20	11,53	12,20	11,39	12,28
q	% rongga thd agregat VMA	24,045	25,759	24,340	23,953	24,778	24,384	23,805	24,383	23,681	24,449
r	% rongga terisi aspal	50,892	46,433	50,079	51,150	48,909	49,959	51,566	49,963	51,921	49,784
s	% rongga dlm campuran VIM	11,805	13,795	12,148	11,697	12,656	12,199	11,526	12,197	11,382	12,274
t	Jam Masuk waterbath	10,35	10,40	10,45	10,50	10,55	11,00	11,05	11,10	11,15	11,20
u	Jam Test	10,35	10,40	10,45	10,50	10,55	11,00	11,05	11,10	11,15	11,20
v	Pembacaan arloji stabilitas	88	105	90	83	74	70	89	101	110	120
w	Lbf	2622,44	3122,98	2681,43	2474,84	2208,74	2090,28	2651,94	3005,38	3269,81	3562,97
x	Kg	1166,51	1389,16	1192,75	1100,86	982,49	929,80	1179,64	1336,85	1454,48	1584,88
y	koreksi (tebal)	0,854	0,816	0,850	0,865	0,845	0,878	0,889	0,861	0,869	0,868
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	996,75	1134,08	1013,48	951,76	830,59	816,70	1048,31	1151,08	1264,58	1375,14
aa	Flow	2,0	2,6	1,7	2,2	1,9	2,1	2,1	2,6	2,7	3,1
ab	Marshall Quotient	498,37	436,19	596,16	432,62	437,15	388,90	511,37	442,72	468,36	443,59

Tabel 4.30 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 6,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,25	10,20	10,23	10,20	10,25	10,20	10,26	10,20	10,25	10,24
b	Tinggi 1 (cm)	6,92	6,92	6,84	6,83	6,92	6,80	6,89	6,90	6,87	6,91
c	Tinggi 2 (cm)	7,00	6,93	6,84	6,81	6,91	9,80	6,94	6,90	6,87	6,90
d	Tinggi 3 (cm)	6,97	6,90	6,76	6,86	6,91	6,81	6,92	6,92	6,88	6,96
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,63	69,17	68,12	68,33	69,12	78,00	69,15	69,03	68,73	69,23
f	% aspal thd agregat	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95
g	% aspal thd campuran	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
h	Berat sampel (gram)	1183,0	1187,0	1189,9	1184,4	1192,3	1187,5	1185,3	1189,9	1190,4	1189,3
I	Berat SSD (gram)	1190,8	1195,3	1198,0	1191,7	1201,1	1195,6	1192,7	1197,7	1198,6	1196,6
j	Berat dalam air (gram)	639,8	638,6	644,0	639,9	636,1	637,5	631,3	635,9	619,5	631,0
k	Isi (gram)	551,00	556,70	554,00	551,80	565,00	558,10	561,40	561,80	579,10	565,60
l	Berat isi	2,147	2,132	2,148	2,146	2,110	2,128	2,111	2,118	2,056	2,103
m	BJ maksimum teoritis	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388	2,388
n	(g*1)/bj aspal	13,419	13,326	13,424	13,415	13,189	13,298	13,196	13,238	12,848	13,142
o	((100-g)*1)/bj agregat	76,474	75,947	76,504	76,454	75,166	75,789	75,204	75,442	73,219	74,897
p	Jumlah kandungan rongga (%)	10,11	10,73	10,07	10,13	11,65	10,91	11,60	11,32	13,93	11,96
q	% rongga thd agregat VMA	23,526	24,053	23,496	23,546	24,834	24,211	24,796	24,558	26,781	25,103
r	% rongga terisi aspal	57,039	55,404	57,132	56,974	53,109	54,926	53,216	53,903	47,972	52,352
s	% rongga dlm campuran VIM	10,104	10,723	10,069	10,128	11,642	10,910	11,597	11,317	13,931	11,958
t	Jam Masuk waterbath	11,05	11,10	11,15	11,20	11,25	11,30	11,35	11,40	11,45	11,50
u	Jam Test	11,05	11,10	11,15	11,20	11,25	11,30	11,35	11,40	11,45	11,50
v	Pembacaan arloji stabilitas	121	111	138	123	129	100	123	95	114	143
w	Lbf	3592,25	3299,16	4088,91	3650,78	3826,22	2975,97	3650,78	2828,79	3387,16	4234,60
x	Kg	1597,90	1467,53	1818,83	1623,94	1701,98	1323,77	1623,94	1258,30	1506,68	1883,64
y	koreksi (tebal)	0,839	0,851	0,879	0,873	0,853	0,876	0,852	0,855	0,863	0,850
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1341,36	1249,49	1599,20	1418,42	1451,32	1159,12	1383,37	1075,72	1299,95	1600,51
aa	Flow	2,3	2,4	3,3	2,6	2,6	2,7	2,0	1,9	3,3	2,8
ab	Marshall Quotient	583,20	520,62	484,61	545,54	558,20	429,31	691,68	581,47	393,92	571,61

Tabel 4.31 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		7 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,24	10,21	10,23	10,21	10,23	10,23	10,25	10,21	10,23	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,47	6,76	6,72	6,70	6,23	6,84	6,70	6,84	5,73	6,81
c	Tinggi 2 (cm)	6,48	6,72	6,71	6,72	6,25	6,80	6,72	6,81	5,70	6,85
d	Tinggi 3 (cm)	6,43	6,77	6,70	6,71	6,26	6,80	6,75	6,82	5,75	6,80
e	Tinggi rata-rata (mm)	64,60	67,50	67,08	67,08	62,45	68,12	67,23	68,22	57,27	68,18
f	% aspal thd agregat	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53
g	% aspal thd campuran	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
h	Berat sampel (gram)	1120,5	1185,5	1189,8	1191,1	1104,5	1192,5	1190,8	1191,0	1051,6	1188,1
I	Berat SSD (gram)	1134,6	1198,9	1202,7	1203,0	1116,3	1204,4	1202,5	1203,3	1157,5	1202,9
j	Berat dalam air (gram)	612,7	655,7	654,5	658,3	610,7	651,7	654,5	649,1	591,5	650,7
k	Isi (gram)	521,90	543,20	548,20	544,70	505,60	552,70	548,00	554,20	566,00	552,20
l	Berat isi	2,147	2,182	2,170	2,187	2,185	2,158	2,173	2,149	1,858	2,152
m	BJ maksimum teoritis	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372
n	(g*1)/bj aspal	14,451	14,689	14,608	14,718	14,704	14,522	14,626	14,465	12,505	14,482
o	((100-g)*1)/bj agregat	76,064	77,321	76,893	77,472	77,395	76,440	76,986	76,138	65,825	76,227
p	Jumlah kandungan rongga (%)	9,49	7,99	8,50	7,81	7,90	9,04	8,39	9,40	21,67	9,29
q	% rongga thd agregat VMA	23,936	22,679	23,107	22,528	22,605	23,560	23,014	23,862	34,175	23,773
r	% rongga terisi aspal	60,372	64,770	63,221	65,333	65,045	61,640	63,552	60,617	36,592	60,917
s	% rongga dlm campuran VIM	9,482	7,986	8,495	7,806	7,898	9,034	8,385	9,394	21,667	9,288
t	Jam Masuk waterbath	12,00	12,05	12,10	12,15	12,20	12,25	12,30	12,35	12,40	12,45
u	Jam Test	12,00	12,05	12,10	12,15	12,20	12,25	12,30	12,35	12,40	12,45
v	Pembacaan arloji stabilitas	121	118	113	123	129	148	113	120	75	119
w	Lbf	3592,25	3504,39	3357,83	3650,78	3826,22	4380,13	3357,83	3562,97	2238,33	3533,68
x	Kg	1597,90	1558,82	1493,63	1623,94	1701,98	1948,37	1493,63	1584,88	995,65	1571,85
y	koreksi (tebal)	0,973	0,896	0,907	0,907	1,028	0,879	0,903	0,877	1,171	0,877
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1555,11	1396,51	1354,92	1473,13	1750,42	1713,10	1348,87	1389,25	1165,95	1379,24
aa	Flow	2,6	2,0	2,6	2,2	3,2	1,9	4,2	3,0	2,5	2,5
ab	Marshall Quotient	598,12	698,25	521,12	669,60	547,00	901,63	321,16	463,08	466,38	551,70

Tabel 4.32 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 7,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		7,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,25	10,23	10,22	10,22	10,23	10,21	10,23	10,23	10,22	10,24
b	Tinggi 1 (cm)	6,81	6,74	6,75	6,75	6,72	6,71	6,76	6,77	6,72	6,76
c	Tinggi 2 (cm)	6,76	6,81	6,85	6,72	6,83	6,74	6,63	6,73	6,85	6,74
d	Tinggi 3 (cm)	6,76	6,74	6,84	6,73	6,81	6,77	6,75	6,75	6,72	6,74
e	Tinggi rata-rata (mm)	67,77	67,62	68,12	67,33	67,87	67,40	67,13	67,48	67,63	67,47
f	% aspal thd agregat	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11	8,11
g	% aspal thd campuran	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
h	Berat sampel (gram)	1185,6	1191,7	1191,5	1191,8	1191,8	1192,7	1192,5	1191,6	1193,6	1187,9
I	Berat SSD (gram)	1193,3	1198,7	1198,1	1199,2	1199,4	1198,5	1198,9	1197,9	1200,6	1194,1
j	Berat dalam air (gram)	644,9	653,9	653,8	656,5	651,8	656,8	659,5	653,5	656,4	652,3
k	Isi (gram)	548,40	544,8	544,3	542,7	547,6	541,7	539,4	544,4	544,2	541,8
l	Berat isi	2,162	2,187	2,189	2,196	2,176	2,202	2,211	2,189	2,193	2,193
m	BJ maksimum teoritis	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
n	(g*l)/bj aspal	15,591	15,775	15,786	15,837	15,695	15,878	15,943	15,785	15,817	15,811
o	((100-g)*l)/bj agregat	76,182	77,080	77,138	77,385	76,692	77,586	77,904	77,130	77,288	77,260
p	Jumlah kandungan rongga (%)	8,23	7,145	7,076	6,778	7,612	6,536	6,153	7,085	6,895	6,929
q	% rongga thd agregat VMA	23,818	22,920	22,862	22,615	23,308	22,414	22,096	22,870	22,712	22,740
r	% rongga terisi aspal	65,458	68,825	69,051	70,028	67,340	70,841	72,154	69,021	69,643	69,530
s	% rongga dlm campuran VIM	8,224	7,142	7,072	6,775	7,609	6,532	6,149	7,081	6,891	6,925
t	Jam Masuk waterbath	12,50	12,55	13,00	13,05	13,10	13,15	13,20	13,25	13,30	13,35
u	Jam Test	12,50	12,55	13,00	13,05	13,10	13,15	13,20	13,25	13,30	13,35
v	Pembacaan arloji stabilitas	120	80	94	133	95	55	99	169	153	138
w	Lbf	3562,97	2386,20	2799,33	3943,04	2828,79	1645,11	2946,54	4989,44	4525,48	4088,91
x	Kg	1584,88	1061,43	1245,20	1753,94	1258,30	731,78	1310,68	2219,40	2013,02	1818,83
y	koreksi (tebal)	0,889	0,893	0,879	0,900	0,886	0,899	0,906	0,896	0,892	0,897
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1408,44	947,56	1094,84	1579,21	1114,83	657,56	1187,19	1989,30	1796,17	1631,08
aa	Flow	3,5	2,2	3,0	2,8	2,4	2,8	1,6	2,4	2,2	2,8
ab	Marshall Quotient	402,41	430,71	371,13	564,00	464,51	234,84	741,99	828,88	816,44	593,12

Tabel 4.33 Perhitungan Marshall Test Campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal 8% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		8 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,28	10,225	10,22	10,205	10,2	10,245	10,23	10,205	10,245	10,215
b	Tinggi 1 (cm)	6,73	6,95	6,72	6,695	6,69	6,66	6,705	6,695	6,645	6,62
c	Tinggi 2 (cm)	6,73	6,82	6,77	6,66	6,68	6,7	6,68	6,685	6,64	6,62
d	Tinggi 3 (cm)	6,75	6,795	6,74	6,682	6,688	6,688	6,697	6,682	6,635	6,627
e	Tinggi rata-rata (mm)	67,37	68,55	67,43	66,79	66,86	66,83	66,94	66,87	66,40	66,21
f	% aspal thd agregat	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
g	% aspal thd campuran	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
h	Berat sampel (gram)	1185,4	1192,1	1191,5	1190,8	1186,7	1186,2	1187,3	1188,6	1182,9	1168,9
I	Berat SSD (gram)	1192,6	1201,4	1200,8	1198,5	1195,9	1196,1	1195,7	1196,3	1191,1	1176,8
j	Berat dalam air (gram)	647,3	655,5	654,0	659,1	655,0	656,7	650,9	651,5	651,0	638,7
k	Isi (gram)	545,3	545,9	546,8	539,4	540,9	539,4	544,8	544,8	540,1	538,1
l	Berat isi	2,174	2,184	2,179	2,208	2,194	2,199	2,179	2,182	2,190	2,172
m	BJ maksimum teoritis	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340
n	(g*1)/bj aspal	16,722	16,798	16,762	16,982	16,876	16,916	16,764	16,782	16,847	16,710
o	((100-g)*1)/bj agregat	76,188	76,535	76,370	77,372	76,892	77,074	76,380	76,464	76,760	76,133
p	Jumlah kandungan rongga (%)	7,090	6,667	6,868	5,646	6,231	6,010	6,856	6,754	6,393	7,157
q	% rongga thd agregat VMA	23,812	23,465	23,630	22,628	23,108	22,926	23,620	23,536	23,240	23,867
r	% rongga terisi aspal	70,225	71,586	70,935	75,049	73,034	73,785	70,975	71,306	72,491	70,012
s	% rongga dlm campuran VIM	7,086	6,664	6,865	5,642	6,228	6,007	6,852	6,750	6,390	7,154
t	Jam Masuk waterbath	13,50	13,55	14	14,05	14,1	14,15	14,2	14,25	14,3	14,35
u	Jam Test	13,50	13,55	14	14,05	14,1	14,15	14,2	14,25	14,3	14,35
v	Pembacaan arloji stabilitas	53	62	76	92	91	93	102	130	85	98
w	Lbf	1585,64	1853,05	2267,92	2740,39	2710,92	2769,86	3034,79	3855,43	2533,90	2917,12
x	Kg	705,32	824,27	1008,82	1218,98	1205,87	1232,09	1349,94	1714,97	1127,13	1297,59
y	koreksi (tebal)	0,899	0,868	0,898	0,915	0,913	0,914	0,911	0,913	0,926	0,931
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	634	715	906	1115	1101	1126	1230	1565	1043	1208
aa	Flow	2,6	2,6	3,1	3,5	4,6	3,0	2,9	3,1	3,6	1,9
ab	Marshall Quotient	244,01	275,07	292,13	318,69	239,38	375,40	424,07	504,98	293,86	635,6

4.5. Pengujian Interval Kepercayaan

Data-data penelitian yang telah dikumpulkan kemudian diuji dengan pengujian interval kepercayaan, dimana tujuannya adalah untuk mencari kevalidan data yang telah didapatkan (*Sudjana, 1982*). Dalam pengujian ini, digunakan interval konfiden 95%. Hal ini berarti bahwa toleransi kesalahan yang diizinkan hanyalah sebesar 5%, sedangkan sisanya (95%) adalah data-data yang dapat dipercaya. Data-data yang tidak memenuhi syarat tersebut kemudian dibuang, sehingga tertinggal data-data valid yang siap untuk diuji secara statistik.

Berikut ini adalah contoh perhitungan Interval Kepercayaan untuk Data Stabilitas pada variasi Kadar Aspal 6 % direndam dalam water bath selama 30 menit pada suhu 60°C dengan jumlah benda uji 10 buah.

Tabel 4.34 Data Stabilitas (Perendaman 30 menit)

No. Benda Uji	Stabilitas (a)	(a-X) ²
1	1355,73	2361,29
2	1077,92	106538,80
3	1272,85	17285,57
4	1355,73	2361,29
5	1335,79	4696,82
6	1573,96	28776,95
7	1460,17	3118,40
8	1850,75	199297,16
9	1320,50	7027,78
10	1439,85	1261,77
Jumlah	14043,27	372725,82

$$\begin{aligned}
 \bar{X} &= \frac{\sum_{n=1}^n \text{Stabilitas}(a)}{n} \\
 &= \frac{14043,27}{10} = 1404,33 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (a_n - X)^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{372725,82}{10-1}} \\
 &= 203,5043
 \end{aligned}$$

$$P = \frac{1}{2}(1 + 0,095) = 0,975$$

$$dk = n - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$t_{0,975} = 2,262 \text{ (tabel student)}$$

Dimana :

X = Nilai rata-rata

s = Standar deviasi

P = Persentil

$t_{0,975}$ = nilai t pada persentil 0,975

Maka interval kepercayaannya adalah :

$$\begin{aligned}
 &= x - \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right) < \mu < x + \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \\
 &= 1404,33 - \left(2,262 \times \frac{203,50425}{\sqrt{10}} \right) < \mu < 1404,33 + \left(2,262 \times \frac{203,50425}{\sqrt{10}} \right) \\
 &= 1258,759 < \mu < 1549,8952
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Berikut ini adalah tabel interval kepercayaan :

Tabel 4.35 Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Aspal 6%	1404,33	203,50425	0,975	9	2,262	1258,759	$< \mu <$	1549,8952
Aspal 6,5%	1432,79	266,85732	0,975	9	2,262	1241,9034	$< \mu <$	1623,6733
Aspal 7%	1511,06	237,63829	0,975	9	2,262	1341,0721	$< \mu <$	1681,0408
Aspal 7,5%	1446,04	203,19302	0,975	9	2,262	1300,697	$< \mu <$	1591,388
Aspal 8%	1314,49	213,10184	0,975	9	2,262	1162,0535	$< \mu <$	1466,9201

Tabel 4.36 Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Stabilitas (Kg)	1355,734	1275,605	1435,271	1418,58	1375,16
	1077,924	940,5083	1945,605	1560,26	1222,326
	1272,852	1833,458	1765,427	1376,49	958,1988
	1355,734	1511,607	1487,29	1241,39	1567,761
	1335,794	1480,892	1451,209	1083,83	1615,552
	1573,965	1547,137	1520,867	1399,32	1317,934
	1460,17	1696,579	1444,114	1505,59	1041,482
	1850,754	1355,01	1033,502	1528,61	1192,837
	1320,495	1119,75	1435,63	1494,12	1416,002
	1439,848	1567,337	1591,65	1852,25	1437,613
Jumlah Data yang Digunakan	9540,628	8737,588	10366,03	10282,96	7961,875
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	6	7	7	6
Rata-rata Data yang Digunakan	1362,95	1456,26	1480,86	1468,99	1326,98

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.37 Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Aspal 6%	2,35	0,3847438	0,975	9	2,262	2,06979	$< \mu <$	2,62021
Aspal 6,5%	2,38	0,3521363	0,975	9	2,262	2,1281143	$< \mu <$	2,6318857
Aspal 7%	2,41	0,9562078	0,975	9	2,262	1,7260177	$< \mu <$	3,0939823
Aspal 7,5%	2,67	0,4571652	0,975	9	2,262	2,3429865	$< \mu <$	2,9970135
Aspal 8%	2,93	1,0855746	0,975	9	2,262	2,1484807	$< \mu <$	3,7015193

Tabel 4.38 Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Flow (mm)	2,2	1,6	2,1	2,7	2,5
	2,2	2,4	2,05	3,8	2
	2,3	2,9	2,5	2,7	2,7
	2,3	2,7	1,6	2,2	2,8
	2,1	2,6	2,2	2,4	2,1
	2,8	2,2	2,45	2,2	3,4
	2,6	2,4	4,8	2,9	2,4
	3,1	2,2	1,2	2,5	2,85
	2,05	2,5	2,75	2,6	5,8
	1,8	2,3	2,45	2,7	2,7
Jumlah Data yang Digunakan	13,7	16,6	16,5	18,5	19,35
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	7	7	7	7
Rata-rata Data yang Digunakan	2,3	2,4	2,4	2,6	2,8

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.39 Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Aspal 6%	12,86	0,5539889	0,975	9	2,262	12,459894	$< \mu <$	13,252438
Aspal 6,5%	12,51	0,9483194	0,975	9	2,262	11,833064	$< \mu <$	13,189744
Aspal 7%	10,98	0,9925543	0,975	9	2,262	10,265773	$< \mu <$	11,685736
Aspal 7,5%	9,69	0,7042732	0,975	9	2,262	9,1826552	$< \mu <$	10,190199
Aspal 8%	6,52	1,0561368	0,975	9	2,262	5,765599	$< \mu <$	7,2765235

Tabel 4.40 Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
VIM (%)	12,01474	11,49225	9,931714	9,207132	6,281631
	13,10529	12,59836	12,08545	9,226770	5,892707
	13,50302	12,00046	11,2182	9,200114	4,921516
	12,48446	12,42629	10,97374	10,215106	6,225435
	12,65194	13,66267	10,95716	8,558400	6,724428
	12,9176	14,54108	12,66932	9,885362	7,094998
	12,35566	11,91528	9,290612	11,097593	8,818166
	12,64967	12,61878	10,71586	9,633056	7,151862
	13,89569	12,31022	10,362	9,706730	5,574832
	12,9836	11,54866	11,55349	10,134005	6,525039
Jumlah Data yang Digunakan	76,79255	73,86938	65,78045	66,9931697	45,8961
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	6	7	7
Rata-rata Data yang Digunakan	12,80	12,31	10,96	9,57	6,56

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.41 Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Aspal 6%	24,95	0,4771023	0,975	9	2,262	24,609346	$< \mu <$	25,291895
Aspal 6,5%	25,57	0,8067286	0,975	9	2,262	24,997015	$< \mu <$	26,151133
Aspal 7%	25,19	0,8340612	0,975	9	2,262	24,594724	$< \mu <$	25,787944
Aspal 7,5%	25,03	0,5846065	0,975	9	2,262	24,613904	$< \mu <$	25,45025
Aspal 8%	23,35	0,8660223	0,975	9	2,262	22,72867	$< \mu <$	23,967614

Tabel 4.42 Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
VMA (%)	24,22597	24,70709	24,31401	24,634222	23,15181
	25,16517	25,64805	26,12383	24,650523	22,8329
	25,5077	25,13941	25,39506	24,628397	22,03653
	24,6305	25,50167	25,18964	25,470926	23,10573
	24,77474	26,55345	25,17571	24,095719	23,5149
	25,00353	27,3007	26,61447	25,197211	23,81876
	24,51958	25,06696	23,77528	26,203465	25,23175
	24,77278	25,66542	24,97294	24,987775	23,86539
	25,84588	25,40293	24,67558	25,048931	22,57224
	25,06036	24,75508	25,67681	25,403605	23,3514
Jumlah Data yang Digunakan	149,4071	152,4244	151,0858	174,5507	163,6409
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	6	7	7
Rata-rata Data yang Digunakan	24,90	25,40	25,18	24,94	23,38

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.43 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
lar Aspal 6%	605,00	82,015009	0,975	9	2,262	546,33163	$< \mu <$	663,66349
lar Aspal 6,5%	610,62	123,28016	0,975	9	2,262	522,43714	$< \mu <$	698,80352
lar Aspal 7%	688,25	194,67687	0,975	9	2,262	548,99386	$< \mu <$	827,5014
lar Aspal 7,5%	548,90	83,513209	0,975	9	2,262	489,16355	$< \mu <$	608,63875
lar Aspal 8%	486,20	149,17542	0,975	9	2,262	379,49842	$< \mu <$	592,91092

Tabel 4.44 Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Marshall Quotient (kg/mm)	616,2427	797,2533	683,4626	525,40	550,0651
	489,9656	391,8785	949,0757	410,59	611,1628
	553,4141	632,2269	706,1709	509,81	354,8885
	589,4496	559,8543	929,5561	564,27	559,9145
	636,0923	569,574	659,6402	451,59	769,3103
	562,1303	703,2441	620,762	636,05	387,6277
	561,6037	706,9079	300,857	519,17	433,951
	597,0175	615,9135	861,2514	611,44	418,5393
	644,144	447,9001	522,0474	574,66	244,1383
	799,9158	681,4508	649,653	686,02	532,4492
Jumlah Data yang Digunakan	4760,094	3059,019	3319,689	2693,306	2882,547
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	8	5	5	5	6
Rata-rata Data yang Digunakan	595,01	611,80	663,94	538,66	480,42

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.45 Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
dar Aspal 6%	1058,25	177,87558	0,975	9	2,262	931,00939	$< \mu <$	1185,4808
dar Aspal 6,5%	1357,85	171,47962	0,975	9	2,262	1235,1863	$< \mu <$	1480,5075
dar Aspal 7%	1452,65	177,16811	0,975	9	2,262	1325,9191	$< \mu <$	1579,3784
dar Aspal 7,5%	1340,62	412,33758	0,975	9	2,262	1045,6696	$< \mu <$	1635,5656
dar Aspal 8%	1064,41	266,49921	0,975	9	2,262	873,78425	$< \mu <$	1255,0419

Tabel 4.46 Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Stabilitas (kg)	996,7456	1341,358	1555,106	1408,44	634,4219
	1134,082	1249,492	1396,509	947,56	715,1905
	1013,476	1599,204	1354,92	1094,84	905,5885
	951,7607	1418,416	1473,128	1579,21	1115,428
	830,5923	1451,32	1750,416	1114,83	1101,153
	816,695	1159,124	1713,103	657,56	1126,205
	1048,311	1383,365	1348,867	1187,19	1229,794
	1151,076	1075,722	1389,252	1989,30	1565,429
	1264,575	1299,952	1165,948	1796,17	1043,211
	1375,137	1600,514	1379,239	1631,08	1207,71
Jumlah Data yang Digunakan	6295,45	8143,90	9897,02	8015,58	7729,09
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	7	6	7
Rata-rata Data yang Digunakan	1049,24	1357,32	1413,86	1335,93	1104,16

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.47 Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
dar Aspal 6%	2,30	0,434901	0,975	9	2,262	1,9839122	$< \mu <$	2,6060878
dar Aspal 6,5%	2,59	0,4807691	0,975	9	2,262	2,2411024	$< \mu <$	2,9288976
dar Aspal 7%	2,67	0,6717308	0,975	9	2,262	2,1895061	$< \mu <$	3,1504939
dar Aspal 7,5%	2,56	0,5184378	0,975	9	2,262	2,1891577	$< \mu <$	2,9308423
dar Aspal 8%	3,09	0,7149398	0,975	9	2,262	2,5735984	$< \mu <$	3,5964016

Tabel 4.48 Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Flow (mm)	2	2,3	2,6	3,5	2,6
	2,6	2,4	2	2,2	2,6
	1,7	3,3	2,6	3,0	3,1
	2,2	2,6	2,2	2,8	3,5
	1,9	2,6	3,2	2,4	4,6
	2,1	2,7	1,9	2,8	3
	2,05	2	4,2	1,6	2,9
	2,6	1,85	3	2,4	3,1
	2,7	3,3	2,5	2,2	3,55
	3,1	2,8	2,5	2,8	1,9
Jumlah Data yang Digunakan	13,55	15,4	15,4	17,55	24,35
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	6	7	8
Rata-rata Data yang Digunakan	2,3	2,6	2,6	2,5	3,0

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.49 Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
dar Aspal 6%	12,17	0,6897127	0,975	9	2,262	11,674644	$< \mu <$	12,661357
dar Aspal 6,5%	11,24	1,1702956	0,975	9	2,262	10,400634	$< \mu <$	12,074876
dar Aspal 7%	9,94	4,1676549	0,975	9	2,262	6,9624135	$< \mu <$	12,924721
dar Aspal 7,5%	7,04	0,5671297	0,975	9	2,262	6,6344425	$< \mu <$	7,4457864
dar Aspal 8%	6,56	0,4878808	0,975	9	2,262	6,2147907	$< \mu <$	6,9127601

Tabel 4.50 Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
VIM (%)	11,80468	10,10353	9,482073	8,223664	7,086455
	13,79507	10,72312	7,986441	7,141896	6,663997
	12,14762	10,06884	8,49497	7,072194	6,864523
	11,69741	10,12763	7,806377	6,774755	5,642269
	12,65628	11,64185	7,898079	7,608948	6,227917
	12,19878	10,90956	9,03403	6,532128	6,006768
	11,52643	11,59733	8,384638	6,149321	6,85212
	12,19716	11,31744	9,394351	7,081466	6,750131
	11,38249	13,93058	21,6671	6,891304	6,389738
	12,27408	11,95767	9,287606	6,925470	7,153835
Jumlah Data yang Digunakan	84,97601	68,14697	77,76857	41,88708	39,74843
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	5	9	6	6
Rata-rata Data yang Digunakan	12,14	11,36	8,64	6,98	6,62

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.51 Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
lar Aspal 6%	24,36	0,5939894	0,975	9	2,262	23,933079	$< \mu <$	24,782848
lar Aspal 6,5%	24,49	0,9955621	0,975	9	2,262	23,778457	$< \mu <$	25,202723
lar Aspal 7%	24,32	3,502155	0,975	9	2,262	21,818852	$< \mu <$	26,829085
lar Aspal 7,5%	22,84	0,4707657	0,975	9	2,262	22,498671	$< \mu <$	23,172156
lar Aspal 8%	23,38	0,4000577	0,975	9	2,262	23,097003	$< \mu <$	23,669331

Tabel 4.52 Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
VMA (%)	24,04507	23,52571	23,93617	23,817860	23,81176
	25,75922	24,05279	22,67936	22,919901	23,46535
	24,34041	23,4962	23,10669	22,862042	23,62978
	23,95269	23,54621	22,52805	22,615143	22,62754
	24,77847	24,83435	22,60511	23,307593	23,10777
	24,38447	24,2114	23,55967	22,413742	22,92643
	23,80543	24,79648	23,01397	22,095980	23,61961
	24,38308	24,55838	23,86245	22,869739	23,53598
	23,68147	26,78136	34,17547	22,711888	23,24046
	24,44932	25,10302	23,77275	22,740249	23,86701
Jumlah Data yang Digunakan	170,3335	147,5564	209,0642	136,7189611	140,5989
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	6	9	6	6
Rata-rata Data yang Digunakan	24,33	24,59	23,23	22,79	23,43


■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 4.53 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
lar Aspal 6%	465,54	57,615267	0,975	9	2,262	424,33157	$< \mu <$	506,7568
lar Aspal 6,5%	536,02	84,873395	0,975	9	2,262	475,3064	$< \mu <$	596,7275
lar Aspal 7%	573,81	157,8816	0,975	9	2,262	460,8716	$< \mu <$	686,7393
lar Aspal 7,5%	544,80	200,56803	0,975	9	2,262	401,33624	$< \mu <$	688,27175
lar Aspal 8%	360,32	127,90519	0,975	9	2,262	268,83114	$< \mu <$	451,81415

Tabel 4.54 Validasi Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam)

	Kadar Aspal (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Marshall Quotient (kg/mm)	498,3728	583,1989	598,1176	402,411761	244,0084
	436,1853	520,6218	698,2547	430,710594	275,0733
	596,1624	484,6073	521,1231	371,132178	292,1253
	432,6185	545,5448	669,6034	564,003190	318,6936
	437,1538	558,1999	547,0049	464,510794	239,381
	388,9024	429,3053	901,6331	234,842335	375,4017
	511,3714	691,6827	321,1589	741,994464	424,0671
	442,7215	581,4714	463,084	828,876830	504,9772
	468,3612	393,9249	466,3792	816,438719	293,8622
	443,5925	571,6123	551,6956	593,119089	635,6366
Jumlah Data yang Digunakan	3159,006	3845,256	3817,008	2454,7554	1979,223
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	7	7	5	6
Rata-rata Data yang Digunakan	451,29	549,32	545,29	490,95	329,87

 = Data yang tidak dipakai

4.5.1. Perhitungan Indeks Perendaman

Uji Indeks Perendaman (Marshall Imersion Test) dimaksudkan untuk mengukur 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 :

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

Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.55 Data Indeks Perendaman

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (30 menit)	Stabilitas (24 jam)	Indeks Perendaman (%)	Syarat
6	1455,95	1049,24	72	> 85%
6,5	1380,36	1357,32	98	
7	1480,86	1413,86	95	
7,5	1468,99	1335,93	91	
8	1326,98	1104,16	83	

4.5.2. Cara Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

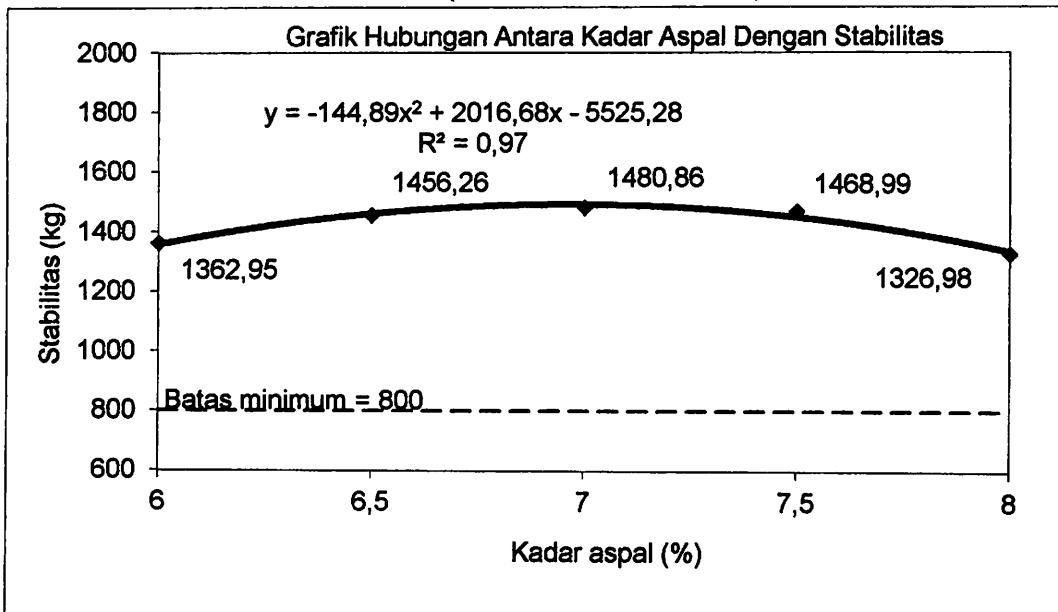
4.5.2.1. Perhitungan Menggunakan Program Microsoft Excel 2007

Berdasarkan dari tabel 4.31 sampai 4.50 diatas dapat diplotkan data dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara lain :

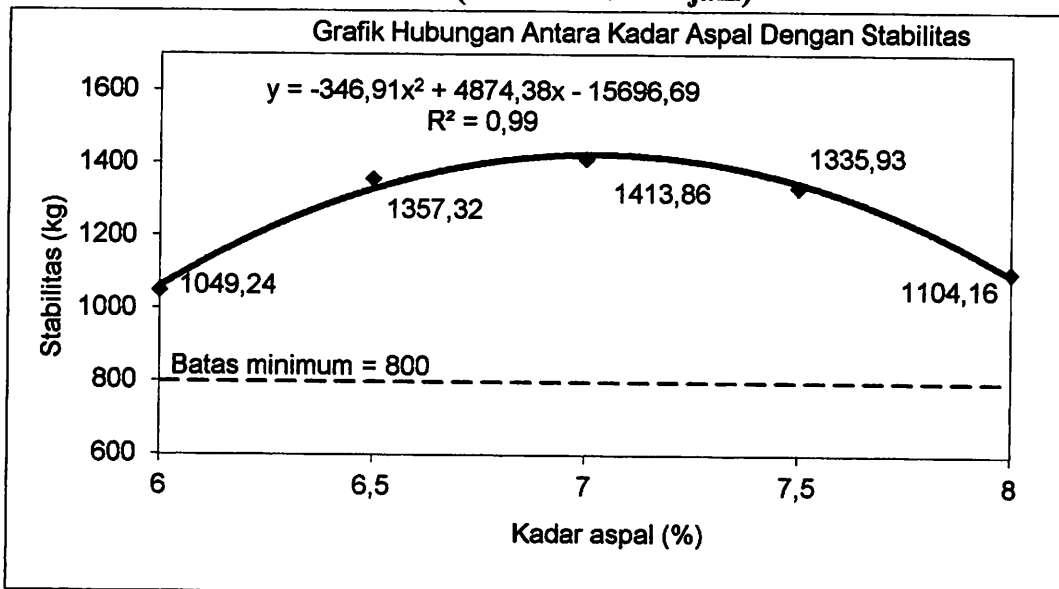
- a. Antara kadar aspal dengan Stabilitas
- b. Antara kadar aspal dengan Flow
- c. Antara kadar aspal dengan VIM
- d. Antara kadar aspal dengan VMA
- e. Antara kadar aspal dengan Marshall Quotient
- f. Antara kadar aspal dengan Indeks Perendaman

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

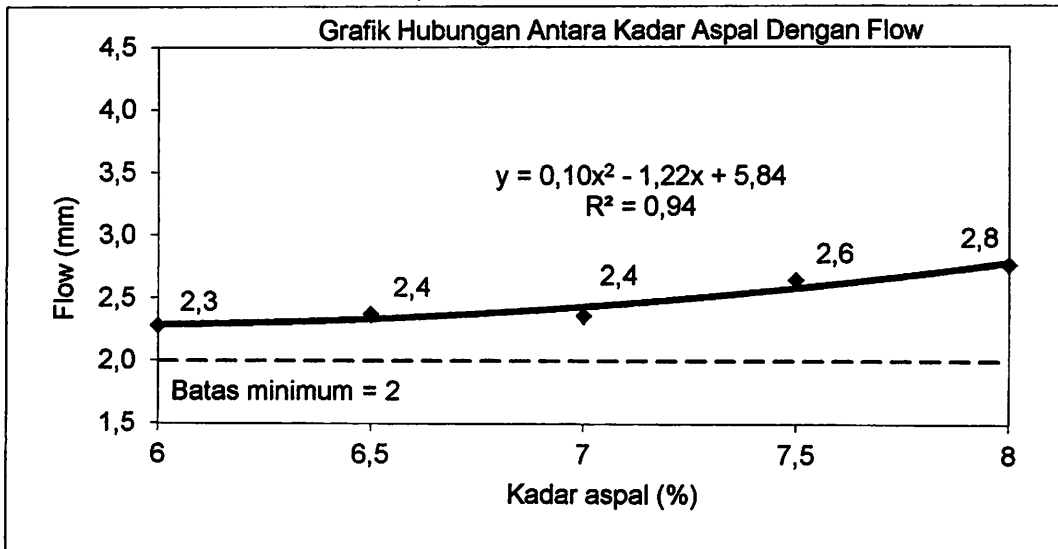
Grafik 4.2 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 menit)



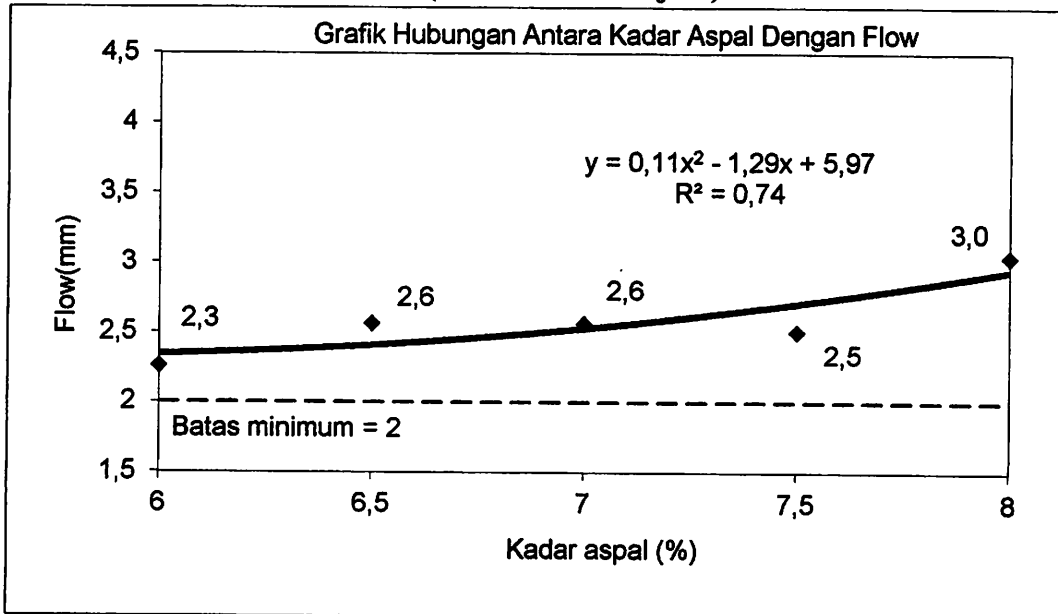
Grafik 4.3 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 jam)



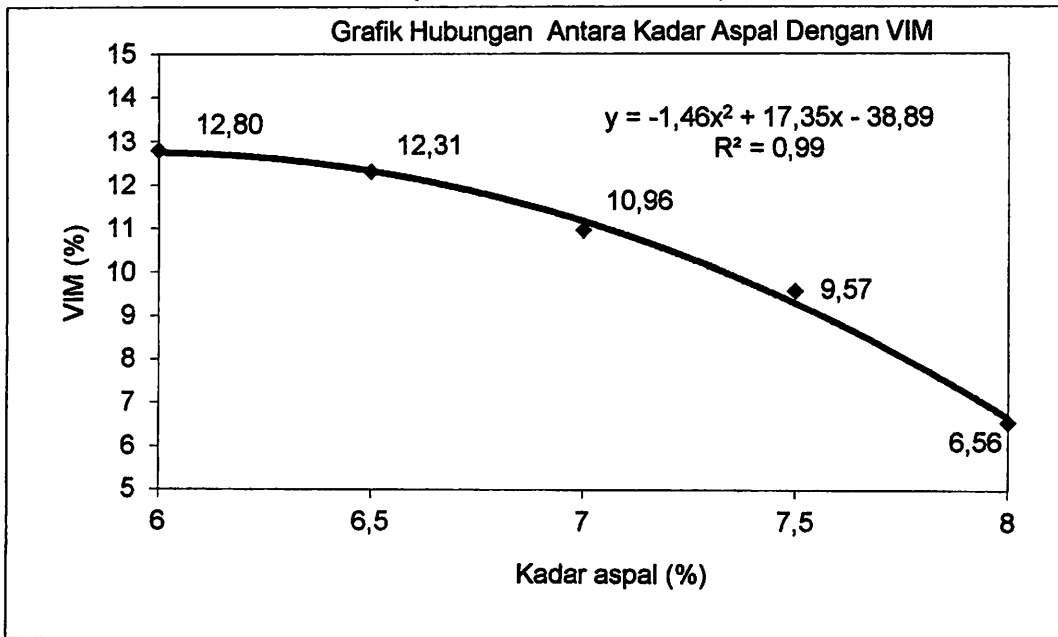
Grafik 4.4 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 30 menit)



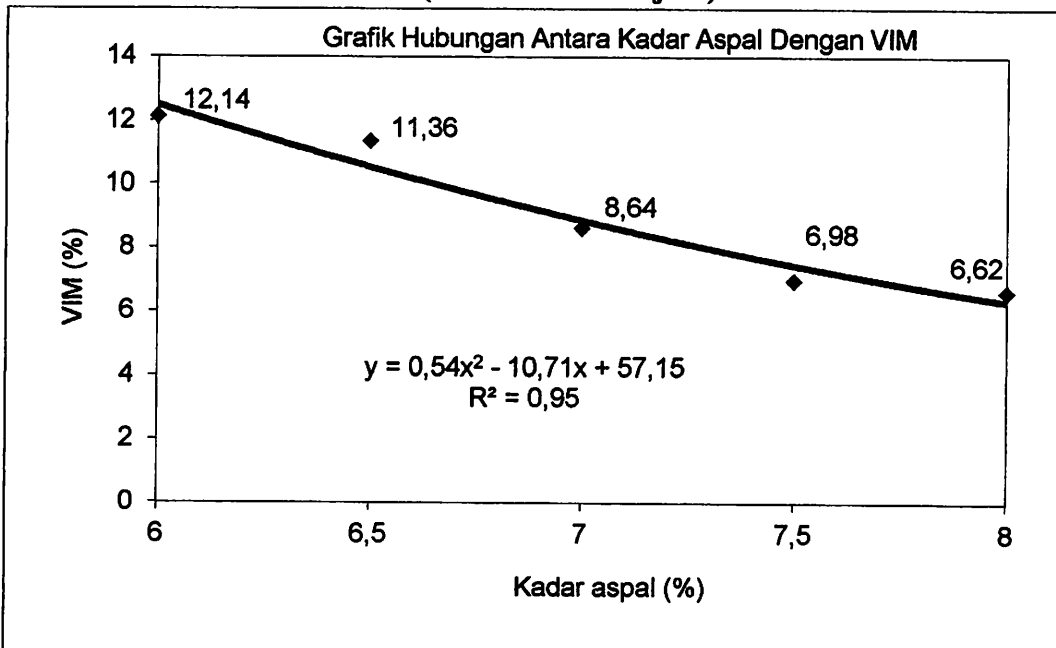
Grafik 4.5 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 jam)



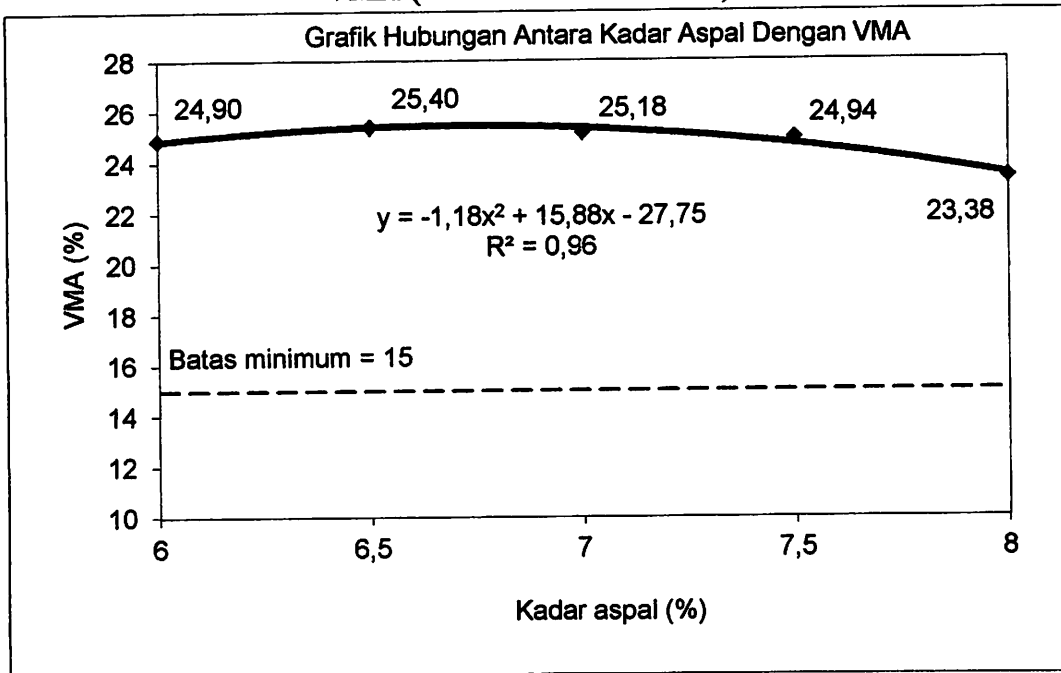
Grafik 4.6 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 30 menit)



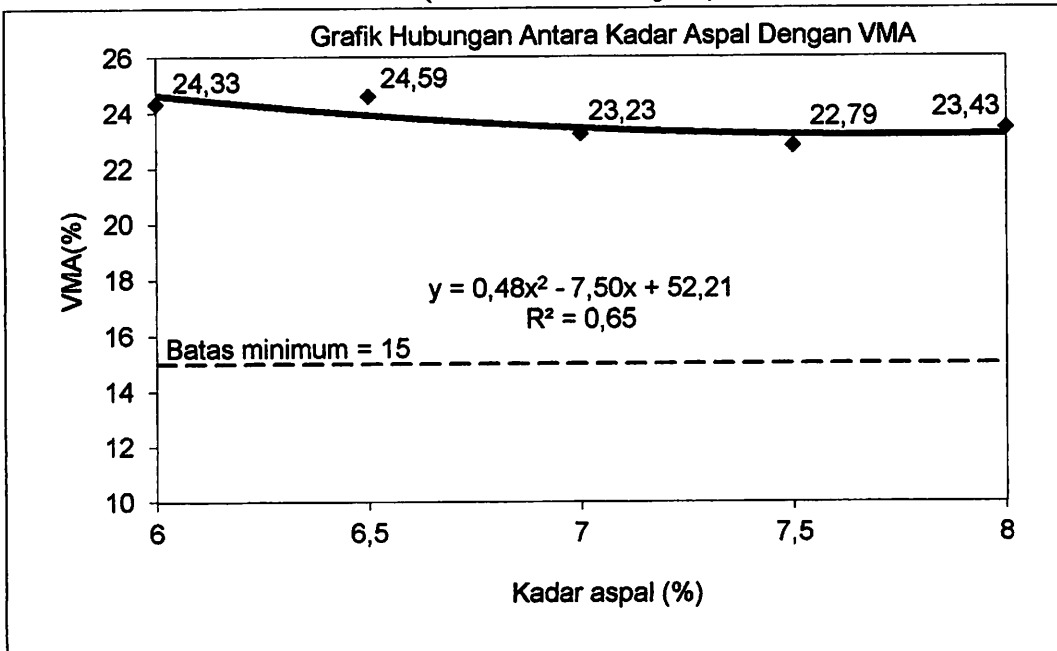
Grafik 4.7 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 jam)



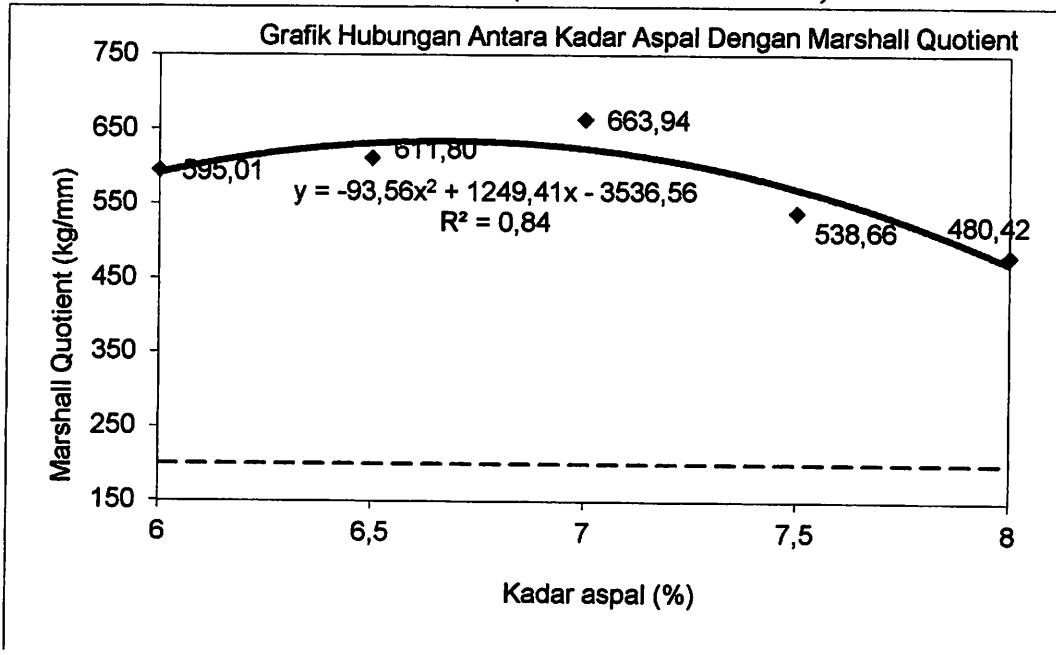
Grafik 4.8 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 30 menit)



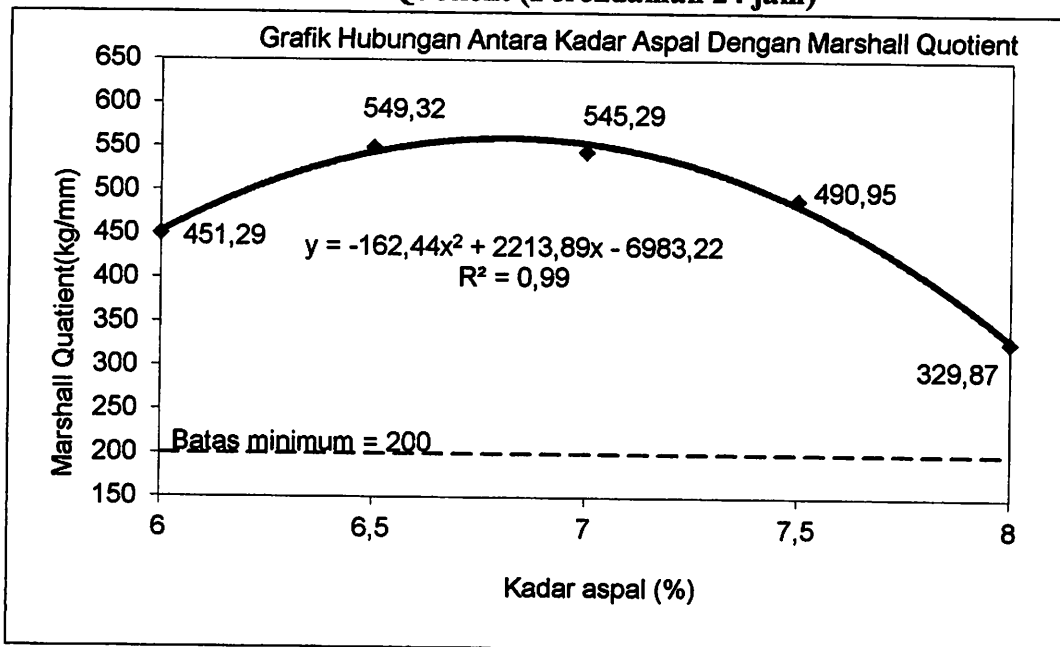
Grafik 4.9 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 24 jam)



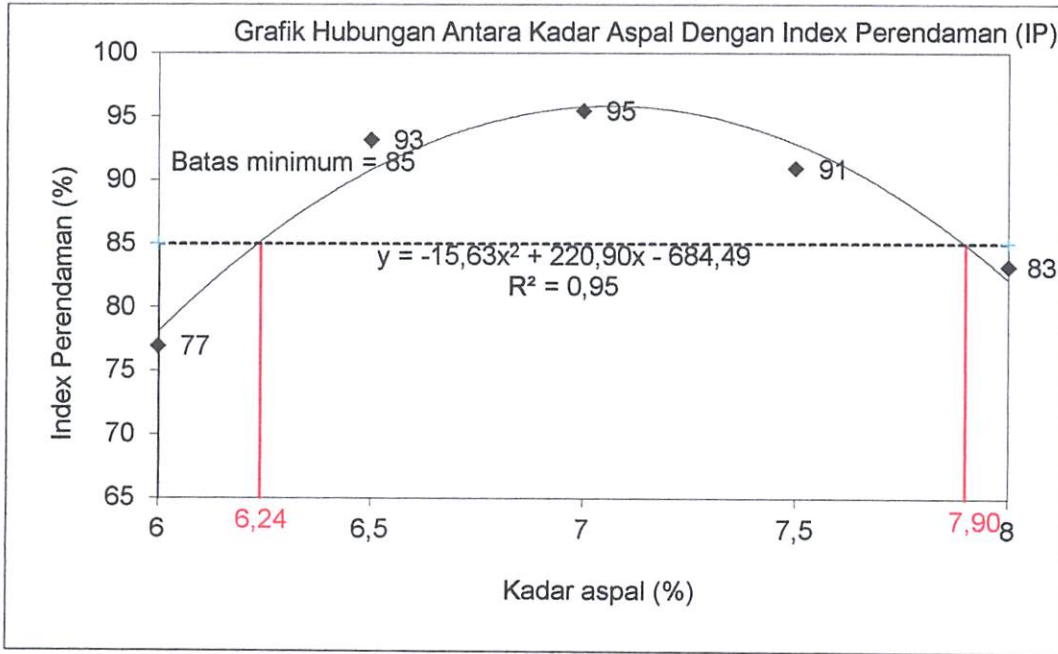
Grafik 4.10 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 30 menit)



Grafik 4.11 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 jam)



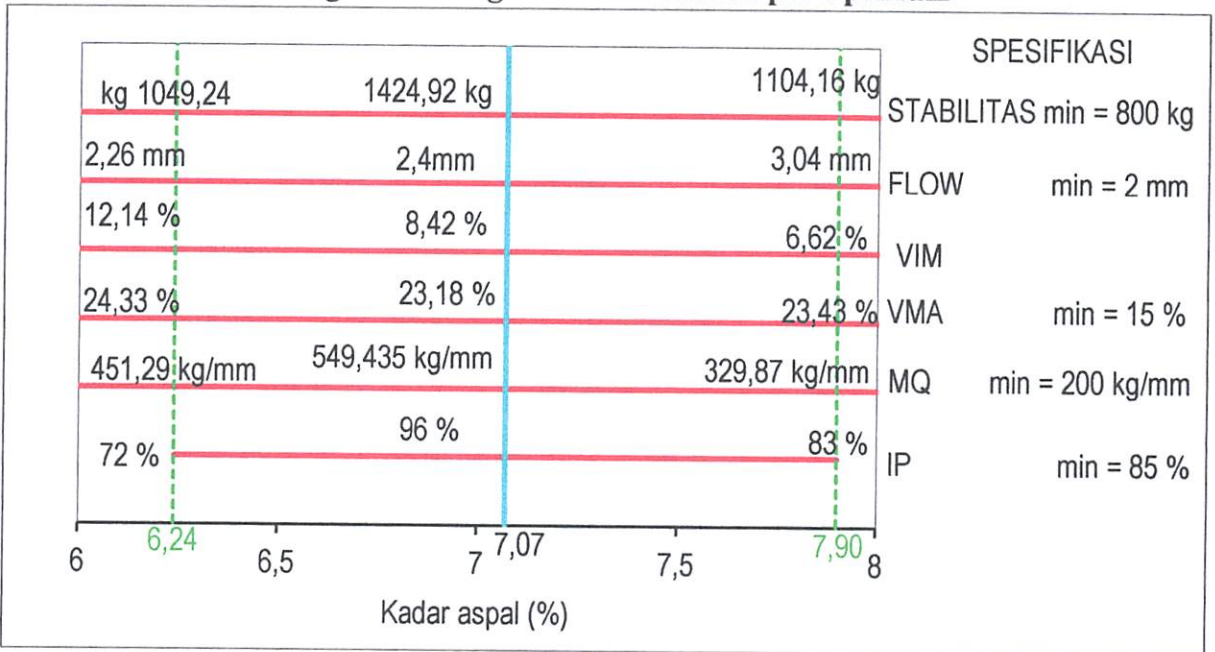
Grafik 4.12 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Indeks Perendaman (IP)



4.5.2.2. Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh Kadar Aspal Optimum sebagai berikut :

Grafik 4.13 Diagram Batang Mencari Kadar Aspal Optimum



Berdasarkan grafik 4.3, kadar aspal optimum dari pengujian ini adalah:

$$y = -346,91x^2 + 4874,38x - 15696,69$$

$$\frac{dy}{dx} = -2(346,91)x + 4874,38$$

$$0 = -693,82x + 4874,38$$

$$x = \frac{4874,38}{693,82} = 7,07\%$$



BAB V

ANALISA ASPAL SUBSTITUSI PLASTIK DAN PEMBAHASAN

5.1. Marshall Test

5.1.1. Data Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian Marshall dihitung menggunakan software Microsoft Excel XP dan hasilnya ditabelkan. Data – data ditampilkan dalam tabel hasil uji test Marshall sebagai berikut.

Keterangan Tabel 5.3 :

Kadar Aspal Optimum = 7,07% (Sub Bab 4.5.2.2.)

BJ agregat = 2,59 (Sub Bab 4.1.7.)

BJ aspal = 1,04 (Sub Bab 4.2.5.)

BJ plastik PP = 0,91 (Sub Bab 2.3.1.)

Contoh perhitungan berat jenis aspal dengan substitusi plastik dengan prosentase 1,5% :

Berat jenis campuran =

$$\frac{\{BJ\ Aspal \times (100 - Prosentase\ Plastik)\} + \{BJ\ Plastik \times Prosentase\ Plastik\}}{100}$$
$$= \frac{\{1,04 \times (100 - 1,5)\} + \{0,91 \times 1,5\}}{100} = 1,0399805$$

Tabel 5.1 Prosentase Subtitusi Plastik dan Berat Jenis Aspal Dengan**Subtitusi Plastik**

Prosentase Plastik	Berat Jenis Campuran
0,0%	1,04
1,5%	1,0399805
2,0%	1,039974
2,5%	1,0399675
3,0%	1,039961
3,5%	1,0399545

Prosentase Subtitusi Plastik PP = 0%

Nomor Benda Uji = 1

a = Diameter (cm)

= 10,20 cm

b = Tinggi 1 (cm)

= 6,59 cm

c = Tinggi 2 (cm)

= 6,45 cm

d = Tinggi 3 (cm)

= 6,49 cm

e = Tinggi rata-rata (cm)

$$= \left(\frac{b+c+d}{3} \right) \times 10$$

$$= \frac{6,59 + 6,45 + 6,49}{3} \times 10$$

$$= 65,10 \text{ mm}$$

f = % aspal dan plastik terhadap agregat

$$= \frac{\% \text{ aspal dan plastik} \times 12}{1200 - \% \text{ Aspal dan plastik} \times 12} \times 100$$

$$= \frac{7,07 \times 12}{1200 - 7,07 \times 12} \times 100$$

$$= 7,61 \%$$

g = % aspal dan plastik terhadap campuran

$$= 7,07\%$$

h = Berat sampel (gram)

$$= 1185,4 \text{ gram}$$

i = Berat SSD (gram)

$$= 1191,4 \text{ gram}$$

j = Berat dalam air (gram)

$$= 668,4 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \text{Isi (gram)} = i - j \\
 &= 1191,4 - 668,4 \\
 &= 523,00 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l &= \text{Berat isi} = \frac{h}{k} \\
 &= \frac{1185,4}{523} \\
 &= 2,267
 \end{aligned}$$

$$m = \text{Berat jenis maksimum teoritis}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal dan Plastik}}{BJ \text{ Campuran Aspal dan Plastik}}} \\
 &= \frac{100}{\frac{13 \times (100 - 7,07) / 100}{2,59} + \frac{36,5 \times (100 - 7,07) / 100}{2,59} + \frac{50,5 \times (100 - 7,07) / 100}{2,66} + \frac{7,07}{1,04}} \\
 &= 2,370
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{g \times l}{BJ \text{ aspal campuran}} \\
 &= \frac{7,07 \times 2,267}{1,04} \\
 &= 15,408
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 o &= \frac{(100 - g) \times 1}{BJ \text{ Agregat}} \\
 &= \frac{(100 - 7,07) \times 2,267}{2,625} \\
 &= 80,24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \text{Jumlah kandungan rongga (\%)} = 100 - n - o \\
 &= 100 - 15,408 - 80,24 \\
 &= 4,352
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q &= \% \text{ rongga terhadap agregat VMA} = 100 - o \\
 &= 100 - 80,24 \\
 &= 19,760
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r &= \% \text{ rongga terisi aspal VFB} = \frac{100 \times n}{q} \\
 &= \frac{100 \times 15,408}{19,76} = 77,975
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \% \text{ rongga dalam campuran VIM} = 100 - \left[100 \times \left(\frac{l}{m} \right) \right] \\
 &= 100 - \left[100 \times \left(\frac{2,267}{2,37} \right) \right] \\
 &= 4,349
 \end{aligned}$$

t = Masuk Waterbath (jam) 10:15

u = Test (jam) 10:45

v = Pembacaan arloji stabilitas

$$= 113$$

w = dari tabel lampiran kalibrasi didapat regresi dari nilai v = 113 \approx 3357,83 lbf

x = w x 0,44482 (kg)

$$= 3357,83 \times 0,44482$$

$$= 1493,63 \text{ kg}$$

y = Angka koreksi (tebal), didapat dari tabel lampiran angka koreksi secara regresi ; $e = 65,10 \approx 0,960$

$$\begin{aligned} z &= \text{Stabilitas (kg ; dengan koreksi benda uji)} = x \times y \\ &= 1493,63 \times 0,960 \\ &= 1434,07 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$aa = 2,4 \text{ mm}$$

$$ab = \text{Marshall Quotient} = z/aa \text{ (kg/mm)}$$

$$= \frac{1434,07}{2,4}$$

$$= 597,53 \text{ kg/mm}$$

Tabel 5.2 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 0% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		0 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,20	10,22	10,23	10,21	10,21	10,21	10,24	10,21	10,24	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,59	6,41	6,50	6,52	6,35	6,48	6,55	6,44	6,47	6,46
c	Tinggi 2 (cm)	6,45	6,40	6,51	6,53	6,39	6,44	6,47	6,45	6,42	6,44
d	Tinggi 3 (cm)	6,49	6,45	6,50	6,54	6,41	6,44	6,46	6,49	6,44	6,41
e	Tinggi rata-rata (mm)	65,10	64,20	65,03	65,30	63,83	64,53	64,93	64,60	64,43	64,37
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1185,4	1188,5	1186,1	1194,8	1192,2	1185,2	1185,4	1188,4	1187,6	1191,6
l	Berat SSD (gram)	1191,4	1196,8	1196,3	1199,2	1193,5	1197,5	1196,4	1194,9	1193,6	1195,5
j	Berat dalam air (gram)	668,4	673,0	682,1	680,8	676,7	626,1	681,8	680,4	678,1	680,8
k	Isi (gram)	523,00	523,80	514,20	518,40	516,80	571,40	514,60	514,50	515,50	514,70
l	Berat isi	2,267	2,269	2,307	2,305	2,307	2,074	2,304	2,310	2,304	2,315
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,408	15,425	15,681	15,668	15,682	14,101	15,660	15,702	15,661	15,738
o	((100-g)*1)/bj agregat	80,240	80,327	81,661	81,594	81,668	73,431	81,550	81,772	81,558	81,960
p	Jumlah kandungan rongga (%)	4,352	4,25	2,66	2,74	2,65	12,47	2,79	2,53	2,78	2,30
q	% rongga thd agregat VMA	19,760	19,673	18,339	18,406	18,332	26,569	18,450	18,228	18,442	18,040
r	% rongga terisi aspal	77,975	78,405	85,508	85,124	85,548	53,071	84,874	86,143	84,923	87,243
s	% rongga dlm campuran VIM	4,349	4,245	2,654	2,735	2,646	12,465	2,787	2,522	2,777	2,298
t	Jam Masuk waterbath	10:15	10:20	10:25	10:30	10:35	10:45	10:50	10:55	11:00	11:05
u	Jam Test	10:45	10:50	10:55	11:00	11:05	11:15	11:20	11:25	11:30	12:35
v	Pembacaan arloji stabilitas	113	106	115	113	127	135	105	79	124	149
w	Lbf	3357,83	3152,36	3416,48	3357,83	3767,77	4001,41	3122,98	2356,64	3680,04	4409,21
x	Kg	1493,63	1402,23	1519,72	1493,63	1675,98	1779,91	1389,16	1048,28	1636,95	1961,31
y	koreksi (tebal)	0,960	0,984	0,962	0,955	0,993	0,975	0,965	0,973	0,978	0,979
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1434,07	1379,25	1461,78	1426,20	1664,37	1735,33	1339,85	1020,21	1600,21	1920,68
aa	Flow	2,4	3,9	2,2	2,7	2,5	3,0	2,6	4,0	2,0	2,8
ab	Marshall Quotient	597,53	353,65	664,45	528,22	665,75	578,44	515,33	255,05	800,11	685,96

Tabel 5.3 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Substitusi Plastik PP 1,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Substitusi		1,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,21	10,24	10,22	10,22	10,21	10,21	10,43	10,22	10,22	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,55	6,47	6,40	6,43	6,44	6,48	6,55	6,54	6,47	6,46
c	Tinggi 2 (cm)	6,52	6,44	6,40	6,46	6,50	6,44	6,47	6,51	6,52	6,46
d	Tinggi 3 (cm)	6,55	6,42	6,44	6,47	6,48	6,45	6,46	6,52	6,49	6,47
e	Tinggi rata-rata (mm)	65,40	64,43	64,13	64,53	64,73	64,57	64,93	65,23	64,93	64,63
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1188,1	1191,8	1189,8	1187,9	1139,0	1184,2	1183,4	1186,4	1187,7	1191,1
l	Berat SSD (gram)	1195,7	1198,4	1197,5	1195,0	1198,9	1195,7	1194,8	1191,3	1198,8	1199,8
j	Berat dalam air (gram)	675,0	685,0	685,5	682,0	682,4	681,4	679,1	682,6	684,3	681,1
k	Isi (gram)	520,70	513,40	512,00	513,00	516,50	514,30	515,70	508,70	514,50	518,70
l	Berat isi	2,282	2,321	2,324	2,316	2,205	2,303	2,295	2,332	2,308	2,296
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,512	15,781	15,798	15,742	14,992	15,653	15,600	15,855	15,693	15,611
o	((100-g)*1)/bj agregat	80,778	82,182	82,268	81,976	78,069	81,515	81,238	82,565	81,724	81,294
p	Jumlah kandungan rongga (%)	3,710	2,04	1,93	2,28	6,94	2,83	3,16	1,58	2,58	3,10
q	% rongga thd agregat VMA	19,222	17,818	17,732	18,024	21,931	18,485	18,762	17,435	18,276	18,706
r	% rongga terisi aspal	80,697	88,567	89,092	87,341	68,359	84,678	83,149	90,937	85,867	83,454
s	% rongga dlm campuran VIM	3,707	2,034	1,931	2,278	6,936	2,829	3,158	1,576	2,579	3,092
t	Jam Masuk waterbath	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	11:45	11:47	11:50	11:52	11:55
u	Jam Test	12:45	12:50	12:55	12:60	13:05	12:15	12:17	12:20	12:22	12:25
v	Pembacaan arloji stabilitas	145	125	144	145	118	128	179	117	127	77
w	Lbf	4292,83	3709,29	4263,72	4292,83	3504,39	3796,99	5278,52	3475,09	3767,77	2297,50
x	Kg	1909,54	1649,96	1896,59	1909,54	1558,82	1688,98	2347,99	1545,79	1675,98	1021,97
y	koreksi (tebal)	0,952	0,978	0,985	0,975	0,970	0,974	0,965	0,957	0,965	0,972
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1818,28	1612,93	1868,77	1861,71	1511,65	1645,21	2264,64	1478,72	1616,48	993,71
aa	Flow	3,1	2,4	2,3	2,5	2,3	3,4	1,7	2,9	2,7	3,5
ab	Marshall Quotient	586,54	672,05	812,51	744,68	657,24	483,89	1332,14	518,85	598,70	283,92

Tabel 5.4 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Substitusi Plastik PP 2% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Substitusi		2 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,25	10,20	10,24	10,22	10,22	10,24	10,20	10,24	10,23	10,24
b	Tinggi 1 (cm)	6,60	6,62	6,70	6,73	6,86	6,46	6,83	6,77	6,92	6,86
c	Tinggi 2 (cm)	6,69	6,59	6,69	6,83	6,88	6,48	6,84	6,83	6,83	6,96
d	Tinggi 3 (cm)	6,60	6,60	6,70	6,81	6,83	6,49	6,86	6,85	6,85	6,97
e	Tinggi rata-rata (mm)	66,30	66,03	66,97	67,90	68,57	64,77	68,43	68,17	68,67	69,30
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1188,0	1188,7	1194,5	1191,2	1194,0	1160,5	1183,2	1183,7	1182,2	1159,8
I	Berat SSD (gram)	1192,2	1196,1	1205,3	1200,9	1207,8	1199,9	1198,8	1203,8	1205,8	1194,7
j	Berat dalam air (gram)	676,9	690,5	687,2	682,5	683,3	709,3	679,7	681,2	683,3	692,5
k	Isi (gram)	515,30	505,60	518,10	518,40	524,50	490,60	519,10	522,60	522,50	502,20
l	Berat isi	2,305	2,351	2,306	2,298	2,276	2,365	2,279	2,265	2,263	2,309
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,673	15,983	15,674	15,621	15,476	16,081	15,495	15,398	15,382	15,700
o	((100-g)*1)/bj agregat	81,617	83,232	81,620	81,348	80,591	83,742	80,693	80,186	80,100	81,759
p	Jumlah kandungan rongga (%)	2,71	0,78	2,71	3,03	3,93	0,18	3,81	4,42	4,52	2,54
q	% rongga thd agregat VMA	18,383	16,768	18,380	18,652	19,409	16,258	19,307	19,814	19,900	18,241
r	% rongga terisi aspal	85,260	95,321	85,278	83,751	79,735	98,913	80,257	77,714	77,294	86,068
s	% rongga dlm campuran VIM	2,706	0,781	2,702	3,027	3,930	0,173	3,808	4,412	4,515	2,538
t	Jam Masuk waterbath	13:20	13:22	13:25	13:27	13:30	13:32	13:35	13:37	13:40	13:42
u	Jam Test	13:50	13:52	13:55	13:57	14:00	14:02	14:05	14:07	14:10	14:12
v	Pembacaan arloji stabilitas	120	112	151	117	128	78	205	215	125	190
w	Lbf	3562,97	3328,50	4467,36	3475,09	3796,99	2327,07	6026,89	6313,48	3709,29	5595,71
x	Kg	1584,88	1480,58	1987,17	1545,79	1688,98	1035,13	2680,88	2808,36	1649,96	2489,08
y	koreksi (tebal)	0,928	0,935	0,910	0,885	0,867	0,969	0,871	0,878	0,865	0,848
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1471,13	1384,89	1808,89	1368,15	1464,71	1002,90	2334,43	2465,48	1426,50	2110,67
aa	Flow	2,1	2,6	2,20	2,5	2,3	3,1	2,7	1,6	2,6	2,6
ab	Marshall Quotient	700,54	532,65	822,22	547,26	636,83	323,52	864,60	1540,93	548,65	827,71

Tabel 5.5 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		2,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,23
b	Tinggi 1 (cm)	6,41	6,42	6,98	6,54	6,43	6,44	6,54	6,43	6,42	6,42
c	Tinggi 2 (cm)	6,42	6,44	6,83	6,55	6,44	6,44	6,53	6,44	6,43	6,55
d	Tinggi 3 (cm)	6,48	6,48	6,98	6,54	6,52	6,46	6,54	6,43	6,43	6,54
e	Tinggi rata-rata (mm)	64,37	64,47	69,30	65,43	64,63	64,47	65,37	64,33	64,27	65,03
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1179,5	1172,0	1196,4	1194,1	1193,9	1193,6	1192,3	1190,7	1194,6	1194,6
I	Berat SSD (gram)	1187,5	1177,6	1214,6	1199,7	1199,7	1198,4	1198,1	1194,5	1199,4	1200,6
j	Berat dalam air (gram)	675,4	665,3	664,6	684,5	681,1	684,9	680,3	681,9	686,8	684,2
k	Isi (gram)	512,10	512,30	550,00	515,20	518,60	513,50	517,80	512,60	512,60	516,40
l	Berat isi	2,303	2,288	2,175	2,318	2,302	2,324	2,303	2,323	2,330	2,313
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*/l)/bj aspal campuran	15,658	15,553	14,788	15,757	15,651	15,802	15,654	15,792	15,843	15,727
o	((100-g)*l)/bj agregat	81,540	80,990	77,009	82,052	81,501	82,290	81,517	82,234	82,503	81,896
p	Jumlah kandungan rongga (%)	2,80	3,46	8,20	2,19	2,85	1,91	2,83	1,97	1,65	2,38
q	% rongga thd agregat VMA	18,460	19,010	22,991	17,948	18,499	17,710	18,483	17,766	17,497	18,104
r	% rongga terisi aspal	84,822	81,811	64,321	87,793	84,602	89,226	84,695	88,885	90,549	86,869
s	% rongga dlm campuran VIM	2,798	3,454	8,200	2,187	2,845	1,905	2,825	1,971	1,650	2,374
t	Jam Masuk waterbath	11:22	11:24	11:26	11:28	11:30	11:32	11:34	11:36	11:38	11:40
u	Jam Test	11:52	11:54	11:56	11:58	12:00	12:02	12:04	12:06	12:08	12:10
v	Pembacaan arloji stabilitas	83	133	127	125	100	118	150	141	128	167
w	Lbf	2474,84	3943,04	3767,77	3709,29	2975,97	3504,39	4438,29	4176,34	3796,99	4931,54
x	Kg	1100,86	1753,94	1675,98	1649,96	1323,77	1558,82	1974,24	1857,72	1688,98	2193,65
y	koreksi (tebal)	0,979	0,977	0,848	0,951	0,972	0,977	0,953	0,980	0,982	0,962
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1078,06	1713,05	1421,18	1569,66	1287,16	1522,49	1881,63	1820,85	1658,38	2110,02
aa	Flow	2,3	2,4	2,3	2,2	3,1	2,5	3,7	1,7	2,1	2,8
ab	Marshall Quotient	468,72	713,77	617,90	713,48	415,21	608,99	508,55	1071,09	789,70	753,58

Tabel 5.6 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		3 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,21	10,22	10,27	10,27	10,23	10,22	10,24	10,20	10,23	10,24
b	Tinggi 1 (cm)	6,91	6,64	6,84	6,82	6,73	6,80	6,83	6,84	6,72	6,73
c	Tinggi 2 (cm)	6,80	6,75	6,78	6,81	6,80	6,80	6,91	6,87	6,79	6,70
d	Tinggi 3 (cm)	6,75	6,78	6,83	6,90	6,76	6,88	6,83	6,81	6,70	6,74
e	Tinggi rata-rata (mm)	68,20	67,23	68,17	68,43	67,63	68,27	68,57	68,40	67,37	67,23
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1190,0	1185,6	1191,4	1186,8	1187,9	1190,2	1188,3	1186,8	1183,1	1187,4
I	Berat SSD (gram)	1205,2	1197,3	1203,0	1198,8	1198,5	1201,6	1201,6	1198,4	1194,4	1197,3
j	Berat dalam air (gram)	683,8	689,3	687,8	685,2	684,9	691,1	681,9	683,1	684,4	687,4
k	Isi (gram)	521,40	508	515,2	513,6	513,6	510,5	519,7	515,3	510	509,9
l	Berat isi	2,282	2,334	2,313	2,311	2,313	2,331	2,287	2,303	2,320	2,329
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,515	15,866	15,721	15,709	15,723	15,849	15,544	15,657	15,770	15,831
o	((100-g)*1)/bj agregat	80,798	82,623	81,867	81,805	81,881	82,537	80,947	81,535	82,125	82,440
p	Jumlah kandungan rongga (%)	3,69	1,511	2,413	2,486	2,396	1,613	3,509	2,808	2,104	1,729
q	% rongga thd agregat VMA	19,202	17,377	18,133	18,195	18,119	17,463	19,053	18,465	17,875	17,560
r	% rongga terisi aspal	80,802	91,303	86,695	86,334	86,776	90,761	81,582	84,792	88,227	90,152
s	% rongga dlm campuran VIM	3,683	1,508	2,409	2,483	2,392	1,610	3,506	2,805	2,101	1,726
t	Jam Masuk waterbath	11:45	11:50	11:55	12:00	12:05	12:10	12:15	12:20	12:25	12:30
u	Jam Test	12:15	12:20	12:25	12:30	12:35	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00
v	Pembacaan arloji stabilitas	111	126	129	136	116	151	145	145	149	131
w	Lbf	3299,16	3738,53	3826,22	4030,58	3445,79	4467,36	4292,83	4292,83	4409,21	3884,64
x	Kg	1467,53	1662,97	1701,98	1792,88	1532,76	1987,17	1909,54	1909,54	1961,31	1727,97
y	koreksi (tebal)	0,877	0,903	0,878	0,871	0,892	0,875	0,867	0,872	0,899	0,903
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1287,05	1501,80	1494,18	1561,19	1367,64	1739,22	1655,98	1664,47	1764,15	1560,49
aa	Flow	3,90	2,3	2,9	2,4	2,6	1,5	2,1	2,2	2,1	2,3
ab	Marshall Quotient	330,01	652,95	515,23	650,49	526,01	1159,48	788,56	756,58	860,56	678,47

Tabel 5.7 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		3,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,20	10,25	10,21	10,22	10,21	10,2	10,21	10,23	10,24	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,55	6,42	6,48	6,53	6,8	6,49	6,55	6,59	6,59	6,62
c	Tinggi 2 (cm)	6,45	6,41	6,5	6,55	6,81	6,53	6,54	6,6	6,54	6,62
d	Tinggi 3 (cm)	6,51	6,41	6,51	6,54	6,9	6,5	6,56	6,57	6,57	6,63
e	Tinggi rata-rata (mm)	65,03	64,13	64,97	65,40	68,37	65,07	65,50	65,87	65,67	66,23
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1184,7	1189,8	1191,9	1194,2	1194,3	1182,9	1190,4	1185,0	1189,0	1193,0
I	Berat SSD (gram)	1186,6	1194,0	1193,3	1194,9	1198,0	1185,5	1194,9	1188,1	1192,9	1197,2
j	Berat dalam air (gram)	678,6	688,9	688,1	674,5	665,5	676,3	671,9	675,6	686,7	684,7
k	Isi (gram)	508,0	505,1	505,2	520,4	532,5	509,2	523	512,5	506,2	512,5
l	Berat isi	2,332	2,356	2,359	2,295	2,243	2,323	2,276	2,312	2,349	2,328
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*I)/bj aspal campuran	15,854	16,013	16,038	15,600	15,247	15,792	15,473	15,718	15,968	15,825
o	((100-g)*I)/bj agregat	82,560	83,392	83,522	81,239	79,400	82,241	80,578	81,856	83,155	82,409
p	Jumlah kandungan rongga (%)	1,586	0,595	0,439	3,161	5,353	1,967	3,949	2,425	0,878	1,767
q	% rongga thd agregat VMA	17,440	16,608	16,478	18,761	20,600	17,759	19,422	18,144	16,845	17,591
r	% rongga terisi aspal	90,906	96,418	97,335	83,153	74,014	88,924	79,669	86,632	94,790	89,957
s	% rongga dlm campuran VIM	1,582	0,591	0,435	3,157	5,350	1,963	3,945	2,422	0,874	1,763
t	Jam Masuk waterbath	19:05	19:07	19:09	19:11	19:13	19:15	19:17	19:19	19:21	19:23
u	Jam Test	19:35	19:37	19:39	19:41	19:43	19:45	19:47	19:49	19:51	19:53
v	Pembacaan arloji stabilitas	138	118	113	140	92	115	115	132	119	142
w	Lbf	4088,91	3504,39	3357,83	4147,21	2740,39	3416,48	3416,48	3913,84	3533,68	4205,48
x	Kg	1818,83	1558,82	1493,63	1844,76	1218,98	1519,72	1519,72	1740,96	1571,85	1870,68
y	koreksi (tebal)	0,962	0,985	0,964	0,952	0,873	0,961	0,950	0,940	0,945	0,930
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1749	1536	1439	1757	1064	1460	1443	1636	1486	1740
aa	Flow	2,30	2,1	2,5	2,4	2,0	2,2	1,5	2,5	2,0	2,9
ab	Marshall Quotient	760,65	731,41	575,72	731,92	531,81	663,84	962,05	654,47	742,81	599,92

Tabel 5.8 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Substitusi Plastik PP 0% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Substitusi		0 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,20	10,21	10,20	10,20	10,21	10,22	10,21	10,23	10,21	10,25
b	Tinggi 1 (cm)	6,15	6,49	6,49	6,38	6,49	6,80	6,60	6,61	6,32	6,50
c	Tinggi 2 (cm)	6,19	6,50	6,50	6,39	6,50	6,78	6,65	6,61	6,32	6,55
d	Tinggi 3 (cm)	6,18	6,41	6,41	6,39	6,48	6,75	6,66	6,60	6,35	6,58
e	Tinggi rata-rata (mm)	61,65	64,67	64,67	63,87	64,90	67,77	66,37	66,07	63,30	65,43
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1137,7	1190,6	1188,2	1189,3	1189,7	1191,4	1189,8	1187,8	1191,1	1192,8
I	Berat SSD (gram)	1139,1	1196,9	1194,4	1191,9	1211,6	1199,0	1195,8	1195,1	1197,1	1199,7
j	Berat dalam air (gram)	640,3	657,0	660,4	666,1	677,0	639,0	651,3	650,5	666,5	650,0
k	Isi (gram)	498,80	539,90	534,00	525,80	534,60	560,00	544,50	544,60	530,60	549,70
l	Berat isi	2,281	2,205	2,225	2,262	2,225	2,128	2,185	2,181	2,245	2,170
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,506	14,991	15,126	15,376	15,128	14,463	14,855	14,827	15,260	14,751
o	((100-g)*1)/bj agregat	80,747	78,069	78,773	80,075	78,783	75,318	77,358	77,213	79,471	76,819
p	Jumlah kandungan rongga (%)	3,747	6,94	6,10	4,55	6,09	10,22	7,79	7,96	5,27	8,43
q	% rongga thd agregat VMA	19,253	21,931	21,227	19,925	21,217	24,682	22,642	22,787	20,529	23,181
r	% rongga terisi aspal	80,537	68,357	71,258	77,172	71,305	58,596	65,605	65,069	74,335	63,635
s	% rongga dlm campuran VIM	3,744	6,936	6,098	4,545	6,085	10,216	7,784	7,956	5,265	8,426
t	Jam Masuk waterbath	12:30	12:32	12:35	12:37	12:40	12:42	12:45	12:47	12:50	12:52
u	Jam Test	12:30	12:32	12:35	12:37	12:40	12:42	12:45	12:47	12:50	12:52
v	Pembacaan arloji stabilitas	103	78	102	120	110	124	133	113	115	130
w	Lbf	3064,19	2327,07	3034,79	3562,97	3269,81	3680,04	3943,04	3357,83	3416,48	3855,43
x	Kg	1363,01	1035,13	1349,94	1584,88	1454,48	1636,95	1753,94	1493,63	1519,72	1714,97
y	koreksi (tebal)	1,049	0,971	0,971	0,992	0,965	0,889	0,926	0,934	1,007	0,951
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1429,65	1005,61	1311,43	1572,55	1404,12	1454,72	1624,92	1395,77	1530,00	1631,50
aa	Flow	2,3	4,3	2,3	3,9	2,1	2,8	2,9	3,1	3,2	1,7
ab	Marshall Quotient	621,59	233,86	570,19	403,22	668,63	519,54	560,32	450,25	478,12	959,71

Tabel 5.9 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 1,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		1,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,21	10,20	10,21	10,21	10,21	10,22	10,22	10,20	10,23	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,71	6,70	6,62	6,65	6,80	6,80	6,76	6,75	6,76	6,73
c	Tinggi 2 (cm)	6,72	6,71	6,68	6,71	6,81	6,76	6,78	6,77	6,73	6,74
d	Tinggi 3 (cm)	6,72	6,68	6,69	6,70	6,79	6,78	6,75	6,72	6,76	6,77
e	Tinggi rata-rata (mm)	67,17	66,97	66,63	66,87	68,00	67,80	67,63	67,47	67,50	67,47
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1188,1	1195,9	1185,6	1182,4	1186,8	1189,9	1189,0	1191,6	1184,5	1191,4
I	Berat SSD (gram)	1202,3	1197,2	1193,1	1193,8	1197,4	1200,1	1199,5	1202,3	1195,4	1202,5
j	Berat dalam air (gram)	663,6	663,7	659,0	659,9	660,9	654,3	658,9	656,0	661,7	654,2
k	Isi (gram)	538,70	533,50	534,10	533,90	536,50	545,80	540,60	546,30	533,70	548,30
l	Berat isi	2,205	2,242	2,220	2,215	2,212	2,180	2,199	2,181	2,219	2,173
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	14,993	15,239	15,091	15,056	15,038	14,821	14,952	14,828	15,088	14,772
o	((100-g)*1)/bj agregat	78,079	79,357	78,585	78,403	78,313	77,180	77,863	77,219	78,571	76,925
p	Jumlah kandungan rongga (%)	6,928	5,40	6,32	6,54	6,65	8,00	7,18	7,95	6,34	8,30
q	% rongga thd agregat VMA	21,921	20,643	21,415	21,597	21,687	22,820	22,137	22,781	21,429	23,075
r	% rongga terisi aspal	68,397	73,823	70,470	69,711	69,343	64,946	67,544	65,092	70,411	64,016
s	% rongga dlm campuran VIM	6,924	5,400	6,320	6,538	6,645	7,996	7,181	7,949	6,337	8,300
t	Jam Masuk waterbath	13:20	13:22	13:25	13:27	13:30	13:32	13:35	13:37	13:40	13:42
u	Jam Test	13:20	13:22	13:25	13:27	13:30	13:32	13:35	13:37	13:40	13:42
v	Pembacaan arloji stabilitas	182	191	107	137	137	129	140	127	131	160
w	Lbf	5365,11	5624,50	3181,73	4059,75	4059,75	3826,22	4147,21	3767,77	3884,64	4728,68
x	Kg	2386,51	2501,89	1415,30	1805,86	1805,86	1701,98	1844,76	1675,98	1727,97	2103,41
y	koreksi (tebal)	0,905	0,910	0,919	0,913	0,882	0,888	0,892	0,897	0,896	0,897
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	2159,50	2277,43	1301,04	1648,71	1593,46	1510,97	1646,03	1502,97	1548,04	1886,29
aa	Flow	4,1	2,5	1,9	3,4	2,6	3,6	2,4	2,4	2,6	2,5
ab	Marshall Quotient	526,71	910,97	684,76	484,92	612,87	419,71	685,85	626,24	595,40	754,51

Tabel 5.10 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Substitusi Plastik PP 2% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Substitusi		2 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,21	10,22	10,20	10,21	10,20
b	Tinggi 1 (cm)	6,93	6,66	6,66	6,70	6,61	6,71	6,75	6,71	6,71	6,61
c	Tinggi 2 (cm)	6,95	6,70	6,59	6,68	6,54	6,69	6,74	6,69	6,61	6,69
d	Tinggi 3 (cm)	6,93	6,76	6,52	6,70	6,58	6,68	6,62	6,68	6,75	6,62
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,33	67,07	65,88	66,92	65,73	66,93	67,03	66,93	66,90	66,40
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1188,8	1183,8	1189,4	1192,8	1192,1	1187,7	1166,4	1185,1	1187,3	1191,2
I	Berat SSD (gram)	1206,7	1195,4	1195,9	1205,3	1206,2	1196,1	1200,8	1193,6	1199,7	1200,0
j	Berat dalam air (gram)	656,4	664,8	678,5	667,7	684,3	659,2	659,4	654,7	657,2	669,8
k	Isi (gram)	550,30	530,60	517,40	537,60	521,90	536,90	541,40	538,90	542,50	530,20
l	Berat isi	2,160	2,231	2,299	2,219	2,284	2,212	2,154	2,199	2,189	2,247
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	14,686	15,167	15,628	15,084	15,528	15,039	14,646	14,950	14,878	15,274
o	((100-g)*1)/bj agregat	76,478	78,984	81,382	78,548	80,863	78,314	76,270	77,853	77,480	79,537
p	Jumlah kandungan rongga (%)	8,84	5,85	2,99	6,37	3,61	6,65	9,08	7,20	7,64	5,19
q	% rongga thd agregat VMA	23,522	21,016	18,618	21,452	19,137	21,686	23,730	22,147	22,520	20,463
r	% rongga terisi aspal	62,435	72,169	83,939	70,313	81,144	69,348	61,721	67,503	66,067	74,642
s	% rongga dlm campuran VIM	8,833	5,845	2,987	6,365	3,605	6,644	9,080	7,194	7,639	5,185
t	Jam Masuk waterbath	13:20	13:22	13:25	13:27	13:30	13:32	13:35	13:37	13:40	13:42
u	Jam Test	13:20	13:22	13:25	13:27	13:30	13:32	13:35	13:37	13:40	13:42
v	Pembacaan arloji stabilitas	103	140	145	138	129	142	144	136	134	135
w	Lbf	3064,19	4147,21	4292,83	4088,91	3826,22	4205,48	4263,72	4030,58	3972,22	4001,41
x	Kg	1363,01	1844,76	1909,54	1818,83	1701,98	1870,68	1896,59	1792,88	1766,92	1779,91
y	koreksi (tebal)	0,847	0,908	0,939	0,912	0,943	0,911	0,908	0,911	0,912	0,926
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1154,62	1674,27	1793,77	1658,10	1605,59	1704,53	1723,02	1633,64	1611,58	1647,38
aa	Flow	2,3	2,5	2,5	2,5	2,4	2,2	2,3	2,9	2,3	2,9
ab	Marshall Quotient	502,01	669,71	717,51	663,24	669,00	774,79	749,14	563,32	700,69	568,06

Tabel 5.11 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 2,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		2,5 %									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,22	10,23	10,22	10,23	10,22	10,22	10,22	10,23	10,22	10,22
b	Tinggi 1 (cm)	6,42	6,42	6,34	6,52	6,74	6,84	6,44	6,93	6,83	6,83
c	Tinggi 2 (cm)	6,43	6,43	6,33	6,83	6,73	6,83	6,44	6,83	6,83	6,84
d	Tinggi 3 (cm)	6,43	6,43	6,35	6,83	6,73	6,83	6,52	6,83	6,84	6,84
e	Tinggi rata-rata (mm)	64,27	64,27	63,40	67,27	67,33	68,33	64,67	68,63	68,33	68,37
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1192,6	1190,3	1186,5	1180,9	1187,3	1189,0	1192,5	1187,7	1190,5	1181,2
I	Berat SSD (gram)	1197,0	1194,9	1193,0	1189,3	1194,2	1196,6	1197,6	1195,9	1198,1	1189,3
j	Berat dalam air (gram)	686,1	686,1	661,9	650,8	664,5	659,9	687,1	659,7	662,8	653,3
k	Isi (gram)	510,90	508,80	531,10	538,50	529,70	536,70	510,50	536,20	535,30	536,00
l	Berat isi	2,334	2,339	2,234	2,193	2,241	2,215	2,336	2,215	2,224	2,204
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*l)/bj aspal campuran	15,869	15,904	15,188	14,908	15,238	15,061	15,880	15,058	15,119	14,982
o	((100-g)*l)/bj agregat	82,639	82,820	79,089	77,634	79,352	78,429	82,697	78,416	78,733	78,016
p	Jumlah kandungan rongga (%)	1,49	1,28	5,72	7,46	5,41	6,51	1,42	6,53	6,15	7,00
q	% rongga thd agregat VMA	17,361	17,180	20,911	22,366	20,648	21,571	17,303	21,584	21,267	21,984
r	% rongga terisi aspal	91,408	92,574	72,631	66,657	73,799	69,820	91,778	69,768	71,094	68,149
s	% rongga dlm campuran VIM	1,488	1,272	5,719	7,454	5,407	6,507	1,419	6,522	6,144	6,999
t	Jam Masuk waterbath	14:10	14:12	14:15	14:17	14:20	14:22	14:25	14:27	14:30	14:32
u	Jam Test	14:10	14:12	14:15	14:17	14:20	14:22	14:25	14:27	14:30	14:32
v	Pembacaan arloji stabilitas	67	69	136	121	141	151	98	151	151	161
w	Lbf	2001,37	2060,66	4030,58	3592,25	4176,34	4467,36	2917,12	4467,36	4467,36	4757,68
x	Kg	890,25	916,62	1792,88	1597,90	1857,72	1987,17	1297,59	1987,17	1987,17	2116,31
y	koreksi (tebal)	0,982	0,982	1,004	0,902	0,900	0,873	0,971	0,865	0,873	0,873
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	874,12	900,01	1800,42	1441,59	1672,65	1735,68	1260,58	1719,79	1735,68	1846,59
aa	Flow	3,3	3,3	2,2	2,3	2,3	2,7	2,2	2,2	3,0	1,9
ab	Marshall Quotient	264,89	272,73	818,37	626,78	727,24	642,84	572,99	781,72	578,56	971,89

Tabel 5.12 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		3 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,21	10,20	10,20	10,21	10,21	10,21	10,20	10,22	10,21	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,89	6,71	6,66	6,79	6,79	6,71	6,71	6,79	6,75	6,71
c	Tinggi 2 (cm)	6,95	6,69	6,65	6,70	6,74	6,72	6,65	6,80	6,80	6,75
d	Tinggi 3 (cm)	6,99	6,70	6,64	6,81	6,70	6,69	6,70	6,72	6,81	6,78
e	Tinggi rata-rata (mm)	69,43	67,00	66,50	67,67	67,43	67,07	66,87	67,70	67,87	67,47
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1192,9	1189,7	1191,8	1193,4	1189,7	1194,0	1186,4	1188,1	1192,1	1189,0
I	Berat SSD (gram)	1196,1	1196,8	1196,4	1199,4	1198,6	1202,7	1190,2	1197,8	1196,4	1194,1
j	Berat dalam air (gram)	650,3	647,7	659,5	663,8	666,5	669,6	667,3	661,8	666,2	661,1
k	Isi (gram)	545,80	549,1	536,9	535,6	532,1	533,1	522,9	536	530,2	533
l	Berat isi	2,186	2,167	2,220	2,228	2,236	2,240	2,269	2,217	2,248	2,231
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran)	14,858	14,730	15,091	15,148	15,200	15,226	15,425	15,069	15,285	15,166
o	((100-g)*1)/bj agregat	77,374	76,703	78,584	78,881	79,154	79,291	80,323	78,472	79,598	78,973
p	Jumlah kandungan rongga (%)	7,77	8,567	6,325	5,971	5,646	5,483	4,253	6,459	5,117	5,861
q	% rongga thd agregat VMA	22,626	23,297	21,416	21,119	20,846	20,709	19,677	21,528	20,402	21,027
r	% rongga terisi aspal	65,671	63,225	70,467	71,725	72,915	73,525	78,389	69,998	74,919	72,126
s	% rongga dlm campuran VIM	7,764	8,564	6,321	5,968	5,643	5,479	4,249	6,455	5,114	5,858
t	Jam Masuk waterbath	12:10	12:12	12:15	12:17	12:20	12:22	12:25	12:27	12:30	12:32
u	Jam Test	12:10	12:12	12:15	12:17	12:20	12:22	12:25	12:27	12:30	12:32
v	Pembacaan arloji stabilitas	145	126	96	130	133	123	129	146	145	128
w	Lbf	4292,83	3738,53	2858,24	3855,43	3943,04	3650,78	3826,22	4321,94	4292,83	3796,99
x	Kg	1909,54	1662,97	1271,40	1714,97	1753,94	1623,94	1701,98	1922,48	1909,54	1688,98
y	koreksi (tebal)	0,845	0,909	0,923	0,891	0,898	0,908	0,913	0,890	0,886	0,897
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1612,68	1512,28	1173,32	1528,68	1574,47	1473,86	1553,87	1711,92	1691,81	1514,63
aa	Flow	2,0	2,6	1,7	2,2	1,9	2,1	2,1	2,6	2,7	3,1
ab	Marshall Quotient	806,34	581,65	690,19	694,85	828,67	701,84	757,99	658,43	626,60	488,59

Tabel 5.13 Perhitungan Marshall Test HRS-WC Dengan Subtitusi Plastik PP 3,5% Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Prosentase Subtitusi		3,5 %									
No. Benda Uji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a	Diameter (cm)	10,20	10,22	10,21	10,22	10,2	10,23	10,22	10,22	10,23	10,21
b	Tinggi 1 (cm)	6,90	6,8	6,82	6,75	6,62	6,67	6,72	6,7	6,65	6,63
c	Tinggi 2 (cm)	6,86	6,79	6,76	6,68	6,69	6,7	6,68	6,69	6,64	6,61
d	Tinggi 3 (cm)	6,82	6,69	6,85	6,65	6,68	6,68	6,7	6,68	6,61	6,65
e	Tinggi rata-rata (mm)	68,60	67,60	68,10	66,93	66,63	66,83	67,00	66,90	66,33	66,30
f	% Aspal dan plastik thd agregat	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61
g	% Aspal dan plastik thd campuran	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07	7,07
h	Berat sampel (gram)	1189,6	1184,2	1191,1	1187,4	1193,3	1187,2	1186,4	1188,0	1188,4	1182,2
I	Berat SSD (gram)	1197,0	1196,0	1199,3	1193,2	1198,8	1196,1	1195,7	1196,3	1197,1	1191,1
j	Berat dalam air (gram)	660,0	656,4	662,4	666,5	671,5	671,5	666,4	667,3	667,0	666,7
k	Isi (gram)	537	539,6	536,9	526,7	527,3	524,6	529,3	529	530,1	524,4
l	Berat isi	2,215	2,195	2,218	2,254	2,263	2,263	2,241	2,246	2,242	2,254
m	BJ maksimum teoritis	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370	2,370
n	(g*1)/bj aspal campuran	15,060	14,920	15,082	15,326	15,385	15,385	15,238	15,267	15,241	15,326
o	((100-g)*1)/bj agregat	78,425	77,693	78,538	79,811	80,116	80,117	79,352	79,504	79,365	79,810
p	Jumlah kandungan rongga (%)	6,515	7,388	6,380	4,863	4,499	4,498	5,410	5,229	5,394	4,864
q	% rongga thd agregat VMA	21,575	22,307	21,462	20,189	19,884	19,883	20,648	20,496	20,635	20,190
r	% rongga terisi aspal	69,803	66,882	70,274	75,913	77,373	77,376	73,799	74,489	73,861	75,908
s	% rongga dlm campuran VIM	6,512	7,384	6,376	4,860	4,496	4,495	5,407	5,225	5,390	4,861
t	Jam Masuk waterbath	12:35	12:37	12:40	12:42	12:45	12:47	12:50	12:52	12:55	12:57
u	Jam Test	12:35	12:37	12:40	12:42	12:45	12:47	12:50	12:52	12:55	12:57
v	Pembacaan arloji stabilitas	125	156	85	109	156	111	105	117	135	128
w	Lbf	3709,29	4612,61	2533,90	3240,46	4612,61	3299,16	3122,98	3475,09	4001,41	3796,99
x	Kg	1649,96	2051,78	1127,13	1441,42	2051,78	1467,53	1389,16	1545,79	1779,91	1688,98
y	koreksi (tebal)	0,866	0,893	0,880	0,911	0,919	0,914	0,909	0,912	0,927	0,928
z	Stabilitas (dg koreksi benda uji)	1429	1833	992	1313	1886	1341	1263	1410	1651	1568
aa	Flow	3,7	2,2	1,7	3,1	2,3	3,2	2,1	2,1	2,3	2,2
ab	Marshall Quotient	386,33	833,00	583,26	423,68	820,06	419,11	601,56	671,38	717,64	712,6

5.2. Pengujian Interval Kepercayaan

Data-data penelitian yang telah dikumpulkan kemudian diuji dengan pengujian interval kepercayaan, dimana tujuannya adalah untuk mencari kevalidan data yang telah didapatkan (*Sudjana, 1982*). Dalam pengujian ini, digunakan interval konfiden 95%. Hal ini berarti bahwa toleransi kesalahan yang diizinkan hanyalah sebesar 5%, sedangkan sisanya (95%) adalah data-data yang dapat dipercaya. Data-data yang tidak memenuhi syarat tersebut kemudian dibuang, sehingga tertinggal data-data valid yang siap untuk diuji secara statistik.

Berikut ini adalah contoh perhitungan Interval Kepercayaan untuk Data Stabilitas pada variasi Substitusi Plastik 1,5 % direndam dalam waterbath selama 30 menit.

Tabel 5.14 Data Stabilitas (Perendaman 30 menit)

No. Benda Uji	Stabilitas (a)	(a-X) ²
1	1818,28	22822,45
2	1612,93	2946,30
3	1868,77	40627,01
4	1861,71	37830,02
5	1511,65	24199,82
6	1645,21	484,07
7	2264,64	356921,14
8	1478,72	35528,08
9	1616,48	2573,48
10	993,71	453599,28
Jumlah	16672,12	977531,65

$$\begin{aligned}
 \bar{X} &= \frac{\sum_{n=1}^n \text{Stabilitas (a)}}{n} \\
 &= \frac{16672,12}{10} = 1667,21 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (a_n - X)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{977531,65}{10-1}}$$

$$= 329,56733$$

$$P = \frac{1}{2} (1 + 0,095) = 0,975$$

$$dk = n - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$t_{0,975} = 2,262 \text{ (tabel student)}$$

Dimana :

X = Nilai rata-rata

s = Standar deviasi

P = Persentil

$t_{0,975}$ = nilai t pada persentil 0,975

Maka interval kepercayaannya adalah :

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

$$= 1667,21 - \left(2,262 x \frac{329,56733}{\sqrt{10}} \right) < \mu < 1667,21 + \left(2,262 x \frac{329,56733}{\sqrt{10}} \right)$$

$$= 1431,4699 < \mu < 1902,9537$$


Dengan cara yang serupa kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Berikut ini adalah tabel interval kepercayaan :

Tabel 5.15 Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Plastik 0%	1498,19	247,44603	0,975	9	2,262	1321,1944	$< \mu <$	1675,1943
Plastik 1,5%	1667,21	329,56733	0,975	9	2,262	1431,4699	$< \mu <$	1902,9537
Plastik 2%	1683,77	476,59094	0,975	9	2,262	1342,866	$< \mu <$	2024,6839
Plastik 2,5%	1606,25	300,59295	0,975	9	2,262	1391,2317	$< \mu <$	1821,2643
Plastik 3%	1559,62	153,89454	0,975	9	2,262	1449,5336	$< \mu <$	1669,6974
Plastik 3,5%	1531,01	209,4759	0,975	9	2,262	1381,1668	$< \mu <$	1680,8460

Tabel 5.16 Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Stabilitas (Kg)	1434,0705	1818,28	1471,132	1078,06	1287,045	1749,487
	1379,2474	1612,9319	1384,893	1713,05	1501,796	1535,962
	1461,7801	1868,7732	1808,886	1421,18	1494,179	1439,303
	1426,1983	1861,7112	1368,148	1569,66	1561,187	1756,600
	1664,3734	1511,6489	1464,711	1287,16	1367,636	1063,623
	1735,3251	1645,2102	1002,901	1522,49	1739,223	1460,449
	1339,8489	2264,6406	2334,43	1881,63	1655,983	1443,069
	1020,2054	1478,7229	2465,484	1820,85	1664,467	1636,183
	1600,213	1616,4823	1426,495	1658,38	1764,148	1485,624
	1920,6812	993,71401	2110,668	2110,02	1560,49	1739,765
Jumlah Data yang Digunakan	10305,732	13413,763	13500,42	9705,606	9438,103	9001
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	8	8	6	6	6
Rata-rata Data yang Digunakan	1472,25	1676,72	1687,55	1617,60	1573,02	1500,10

 = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.17 Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
Plastik 0%	2,81	0,6657494	0,975	9	2,262	2,3337847	$< \mu <$	3,2862153
Plastik 1,5%	2,68	0,5533986	0,975	9	2,262	2,27915	$< \mu <$	3,07085
Plastik 2%	2,43	0,4036294	0,975	9	2,262	2,136281	$< \mu <$	2,713719
Plastik 2,5%	2,51	0,5646041	0,975	9	2,262	2,1061346	$< \mu <$	2,9138654
Plastik 3%	2,43	0,6338813	0,975	9	2,262	1,9715801	$< \mu <$	2,8784199
Plastik 3,5%	2,24	0,3777124	0,975	9	2,262	1,9698196	$< \mu <$	2,5101804

Tabel 5.18 Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Flow (mm)	2,4	3,1	2,1	2,3	3,9	2,30
	3,9	2,4	2,6	2,4	2,3	2,10
	2,2	2,3	2,2	2,3	2,9	2,50
	2,7	2,5	2,5	2,2	2,4	2,40
	2,5	2,3	2,3	3,1	2,6	2,00
	3	3,4	3,1	2,5	1,5	2,20
	2,6	1,7	2,7	3,7	2,1	1,50
	4	2,85	1,6	1,7	2,2	2,50
	2	2,7	2,6	2,1	2,05	2,00
	2,8	3,5	2,55	2,8	2,3	2,90
Jumlah Data yang Digunakan	16	15,05	17,45	14,5	15,95	18
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	7	6	7	8
Rata-rata Data yang Digunakan	2,7	2,5	2,5	2,4	2,3	2,3

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.19 Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
r Plastik 0%	3,95	3,0752157	0,975	9	2,262	1,7479701	$< \mu <$	6,147418
r Plastik 1,5%	3,01	1,5221756	0,975	9	2,262	1,9230279	$< \mu <$	4,1006744
r Plastik 2%	2,86	1,4497199	0,975	9	2,262	1,8222395	$< \mu <$	3,8962297
r Plastik 2,5%	3,02	1,8993516	0,975	9	2,262	1,6622167	$< \mu <$	4,3794565
r Plastik 3%	2,42	0,7452949	0,975	9	2,262	1,8889401	$< \mu <$	2,9551696
r Plastik 3,5%	2,21	1,5641505	0,975	9	2,262	1,0894173	$< \mu <$	3,3271136

Tabel 5.20 Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
VIM (%)	4,348521	3,7069	2,7059	2,798311	3,68268	1,58231759
	4,244848	2,03357	0,780872	3,454086	1,507551	0,59114909
	2,654094	1,93054	2,702256	8,199645	2,408903	0,43540408
	2,734532	2,27801	3,027208	2,187246	2,482855	3,15699954
	2,645715	6,93569	3,929723	2,844792	2,39247	5,34963832
	12,46538	2,82864	0,173049	1,904518	1,609616	1,96343311
	2,787167	3,1579	3,808358	2,825091	3,50566	3,945064
	2,522199	1,57642	4,412204	1,971040	2,804568	2,42176951
	2,776785	2,57932	4,515063	1,649957	2,100666	0,87386537
	2,297701	3,09153	2,537712	2,373680	1,72558	1,76301352
Jumlah Data yang Digunakan	27,01156	21,6064	14,78143	20,35876311	12,18946	10,8875333
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	9	8	5	8	5	5
Rata-rata Data yang Digunakan	3,001285	2,7008	2,956287	2,544845389	2,437892	2,17750665


 = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.21 Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 30 menit)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
lar Plastik 0%	19,42	2,579727	0,975	9	2,262	17,578654	$< \mu <$	21,269248
lar Plastik 1,5%	18,64	1,2769139	0,975	9	2,262	17,725754	$< \mu <$	19,552526
lar Plastik 2%	18,51	1,2161315	0,975	9	2,262	17,641288	$< \mu <$	19,381104
lar Plastik 2,5%	18,65	1,5933139	0,975	9	2,262	17,507133	$< \mu <$	19,78655
lar Plastik 3%	18,14	0,6252105	0,975	9	2,262	17,69691	$< \mu <$	18,591345
lar Plastik 3,5%	17,96	1,3121	0,975	9	2,262	17,026	$< \mu <$	18,903

Tabel 5.22 Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
VMA (%)	19,76	19,22	18,38	18,46	19,20	17,44
	19,67	17,82	16,77	19,01	17,38	16,61
	18,34	17,73	18,38	22,99	18,13	16,48
	18,41	18,02	18,65	17,95	18,20	18,76
	18,33	21,93	19,41	18,50	18,12	20,6
	26,57	18,49	16,26	17,71	17,46	17,76
	18,45	18,76	19,31	18,48	19,05	19,42
	18,23	17,43	19,81	17,77	18,47	18,14
	18,44	18,28	19,90	17,50	17,87	16,85
	18,04	18,71	18,24	18,10	17,56	17,59
Jumlah Data yang Digunakan	167,7	147,0257	92,96305	145,9804	90,78707	89,69
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	9	8	5	8	5	5
Rata-rata Data yang Digunakan	18,63	18,37821	18,59261	18,24755	18,15741	17,94

 = Data yang tidak dipakai

**Tabel 5.23 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient
(Perendaman 30 menit)**

Variasi	X	S	P	Dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
ar Plastik 0%	564,45	161,84259	0,975	9	2,262	448,6811	$< \mu <$	680,21543
ar Plastik 1,5%	669,05	275,49342	0,975	9	2,262	471,98992	$< \mu <$	866,11478
ar Plastik 2%	734,49	328,90015	0,975	9	2,262	499,22678	$< \mu <$	969,75607
ar Plastik 2,5%	666,10	189,66991	0,975	9	2,262	530,42846	$< \mu <$	801,77297
ar Plastik 3%	691,84	224,52659	0,975	9	2,262	531,23097	$< \mu <$	852,44194
ar Plastik 3,5%	695,46	121,61	0,975	9	2,262	608,47	$< \mu <$	782,45

**Tabel 5.24 Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukan pengujian
interval kepercayaan (Perendaman 30 menit)**

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Marshall Quotient (kg/mm)	597,5294	586,5428	700,5392	468,72	330,0116	760,65
	353,6532	672,055	532,6513	713,77	652,9549	731,41
	664,4455	812,5101	822,2207	617,90	515,2343	575,72
	528,2216	744,6845	547,2593	713,48	650,4945	731,92
	665,7494	657,2386	636,8309	415,21	526,0138	531,81
	578,4417	483,8853	323,5165	608,99	1159,482	663,84
	515,3265	1332,142	864,6037	508,55	788,5635	962,05
	255,0513	518,8501	1540,928	1071,09	756,5757	654,47
	800,1065	598,6972	548,652	789,70	860,5598	742,81
	685,9576	283,9183	827,7129	753,58	678,4741	599,92
Jumlah Data yang Digunakan	3549,714	5074,464	5480,47	4197,434	3527,063	4285,10
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	8	8	6	5	6
Rata-rata Data yang Digunakan	591,619	634,308	685,0587	699,5723	705,4125	714,18322

■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.25 Interval Kepercayaan Data Stabilitas (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
ar Plastik 0%	1436,03	184,14254	0,975	9	2,262	1304,3078	$< \mu <$	1567,7448
ar Plastik 1,5%	1730,75	307,65819	0,975	9	2,262	1510,6785	$< \mu <$	1950,8187
ar Plastik 2%	1620,65	173,2489	0,975	9	2,262	1496,725	$< \mu <$	1744,5774
ar Plastik 2,5%	1498,71	366,96983	0,975	9	2,262	1236,2147	$< \mu <$	1761,207
ar Plastik 3%	1534,75	148,83164	0,975	9	2,262	1428,2922	$< \mu <$	1641,2129
ar Plastik 3,5%	1480,36	271,8276	0,975	9	2,262	1285,9242	$< \mu <$	1674,8047

Tabel 5.26 Data Pengujian Stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Stabilitas (Kg)	1429,65	2182,726	1154,624	874,1215	1612,68	1440,684
	1005,61	2300,737	1674,271	900,0128	1512,28	1844,126
	1311,43	1325,056	1793,771	1800,42	1173,32	1003,086
	1572,55	1672,394	1658,101	1441,594	1528,68	1325,294
	1404,12	1616,352	1605,594	1672,65	1574,47	1898,01
	1454,72	1534,045	1704,53	1735,677	1473,86	1353,075
	1624,92	1669,157	1723,017	1260,581	1553,87	1275,165
	1395,77	1526,29	1633,642	1719,787	1711,92	1421,774
	1530,00	1571,31	1611,58	1735,677	1691,81	1662,603
	1631,50	1909,42	1647,383	1846,588	1514,63	1579,826
Jumlah Data yang Digunakan	8525,69	11498,97	13258,12	9565,97	10770,48	8783,26
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	7	8	6	7	6
Rata-rata Data yang Digunakan	1420,948	1642,71	1657,265	1594,328	1538,639	1463,876


■ = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.27 Interval Kepercayaan Data Flow (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
ar Plastik 0%	2,86	0,8085653	0,975	9	2,262	2,2816274	$< \mu <$	3,4383726
ar Plastik 1,5%	2,80	0,6733003	0,975	9	2,262	2,3183834	$< \mu <$	3,2816166
ar Plastik 2%	2,48	0,2508319	0,975	9	2,262	2,2955781	$< \mu <$	2,6544219
ar Plastik 2,5%	2,54	0,5015531	0,975	9	2,262	2,1812354	$< \mu <$	2,8987646
ar Plastik 3%	2,30	0,434901	0,975	9	2,262	1,9839122	$< \mu <$	2,6060878
ar Plastik 3,5%	2,49	0,6244108	0,975	9	2,262	2,0433544	$< \mu <$	2,9366456

Tabel 5.28 Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Flow (mm)	2,3	4,1	2,3	3,3	2,0	3,7
	4,3	2,5	2,50	3,3	2,6	2,2
	2,3	1,9	2,5	2,2	1,7	1,7
	3,9	3,4	2,5	2,3	2,2	3,1
	2,1	2,6	2,4	2,3	1,9	2,3
	2,8	3,6	2,15	2,7	2,1	3,2
	2,9	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1
	3,1	2,4	2,9	2,2	2,6	2,1
	3,2	2,6	2,3	3	2,7	2,3
	1,7	2,5	2,9	1,9	3,1	2,2
Jumlah Data yang Digunakan	16,6	15	16,8	13,9	13,55	13,2
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	6	6	7	6	6	6
Rata-rata Data yang Digunakan	2,8	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2


 = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.29 Interval Kepercayaan Data VIM (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
lar Plastik 0%	6,71	1,9533144	0,975	9	2,262	5,3082993	$< \mu <$	8,1027391
lar Plastik 1,5%	6,96	0,9070384	0,975	9	2,262	6,31033	$< \mu <$	7,6079522
lar Plastik 2%	6,34	2,014753	0,975	9	2,262	4,8964099	$< \mu <$	7,7787447
lar Plastik 2,5%	4,89	2,4840463	0,975	9	2,262	3,116115	$< \mu <$	6,6698274
lar Plastik 3%	6,14	1,2502239	0,975	9	2,262	5,2471308	$< \mu <$	7,0357192
lar Plastik 3,5%	5,50	0,9589215	0,975	9	2,262	4,8145491	$< \mu <$	6,186396

Tabel 5.30 Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
VIM (%)	3,74	6,92	8,83	1,49	7,76	6,51
	6,94	5,40	5,85	1,27	8,56	7,38
	6,10	6,32	2,99	5,72	6,32	6,38
	4,54	6,54	6,36	7,45	5,97	4,86
	6,08	6,65	3,60	5,41	5,64	4,50
	10,22	8,00	6,64	6,51	5,48	4,49
	7,78	7,18	9,08	1,42	4,25	5,41
	7,96	7,95	7,19	6,52	6,46	5,23
	5,27	6,34	7,64	6,14	5,11	5,39
	8,43	8,30	5,19	7,00	5,86	4,86
Jumlah Data yang Digunakan	34,859	39,94628	38,8718	30,29818	35,72394	25,74237
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	5	6	6	5	6	5
Rata-rata Data yang Digunakan	6,97	6,66	6,48	6,06	5,95	5,15

 = Data yang tidak dipakai

Tabel 5.31 Interval Kepercayaan Data VMA (Perendaman 24 jam)

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
ar Plastik 0%	21,74	1,6385901	0,975	9	2,262	20,565331	$< \mu <$	22,909522
ar Plastik 1,5%	21,95	0,7608911	0,975	9	2,262	21,406149	$< \mu <$	22,494691
ar Plastik 2%	21,43	1,6901227	0,975	9	2,262	20,220128	$< \mu <$	22,638042
ar Plastik 2,5%	20,22	2,0837982	0,975	9	2,262	18,726768	$< \mu <$	21,70788
ar Plastik 3%	21,26	1,0487775	0,975	9	2,262	20,514499	$< \mu <$	22,014895
ar Plastik 3,5%	20,73	0,8044113	0,975	9	2,262	20,151699	$< \mu <$	21,302501

Tabel 5.32 Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan (Perendaman 24 jam)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
VMA (%)	19,25	21,92	23,52	17,36	22,63	21,58
	21,93	20,64	21,02	17,18	23,30	22,31
	21,23	21,41	18,62	20,91	21,42	21,46
	19,92	21,60	21,45	22,37	21,12	20,19
	21,22	21,69	19,14	20,65	20,85	19,88
	24,68	22,82	21,69	21,57	20,71	19,88
	22,64	22,14	23,73	17,30	19,68	20,65
	22,79	22,78	22,15	21,58	21,53	20,50
	20,53	21,43	22,52	21,27	20,40	20,63
	23,18	23,08	20,46	21,98	21,03	20,19
Jumlah Data yang Digunakan	109,8	130,1854	129,2845	105,98	126,6448	102,1591
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	5	6	6	5	6	5
Rata-rata Data yang Digunakan	21,96	21,70	21,55	21,20	21,11	20,43


■ = Data yang tidak dipakai

**Tabel 5.33 Interval Kepercayaan Data Marshall Quotient
(Perendaman 24 jam)**

Variasi	X	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan		
ar Plastik 0%	546,54	190,02503	0,975	9	2,262	410,61595	$< \mu <$	682,4685
ar Plastik 1,5%	638,93	141,86624	0,975	9	2,262	537,45172	$< \mu <$	740,40761
ar Plastik 2%	659,55	90,362349	0,975	9	2,262	594,91137	$< \mu <$	724,18504
ar Plastik 2,5%	625,80	224,02672	0,975	9	2,262	465,55326	$< \mu <$	786,04912
ar Plastik 3%	683,51	102,44368	0,975	9	2,262	610,23539	$< \mu <$	756,79279
ar Plastik 3,5%	621,85	164,43261	0,975	9	2,262	504,2268	$< \mu <$	739,46646

Tabel 5.34 Validasi Data Marshall Quotient (Perendaman 24 jam)

	Kadar Plastik (%)					
	0	1,5	2	2,5	3	3,5
Marshall Quotient (kg/mm)	621,59	532,37	502,01	264,89	806,34	389,37
	233,86	920,29	669,71	272,73	581,65	838,24
	570,19	697,40	717,51	818,37	690,19	590,05
	403,22	491,88	663,24	626,78	694,85	427,51
	668,63	621,67	669,00	727,24	828,67	825,22
	519,54	426,12	792,80	642,84	701,84	422,84
	560,32	695,48	749,14	572,99	757,99	607,22
	450,25	635,95	563,32	781,72	658,43	677,04
	478,12	604,35	700,69	578,56	626,60	722,87
	959,71	763,77	568,06	971,89	488,59	718,10
Jumlah Data yang Digunakan	3868,64	3254,86	3420,14	3930,13	3371,91	3315,28
Banyaknya Pengamatan yang Digunakan	7	5	5	6	5	5
Rata-rata Data yang Digunakan	552,66	650,97	684,03	655,02	674,38	663,06

 = Data yang tidak dipakai

2.1. Perhitungan Indeks perendaman

Uji Indeks Perendaman (Marshall Imersion Test) dimaksudkan untuk mengukur 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 :

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

Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 5.35 Data Indeks Perendaman

Kadar Plastik (%)	Stabilitas (30 menit)	Stabilitas (24 jam)	Indeks Perendaman (%)	Syarat
0	1472,25	1420,95	97	> 85%
1,5	1676,72	1642,71	98	
2	1687,55	1657,26	98	
2,5	1617,60	1594,33	99	
3	1573,02	1538,64	98	
3,5	1500,10	1463,88	98	

5.2.2. Analisa Kadar Campuran Plastik Optimum

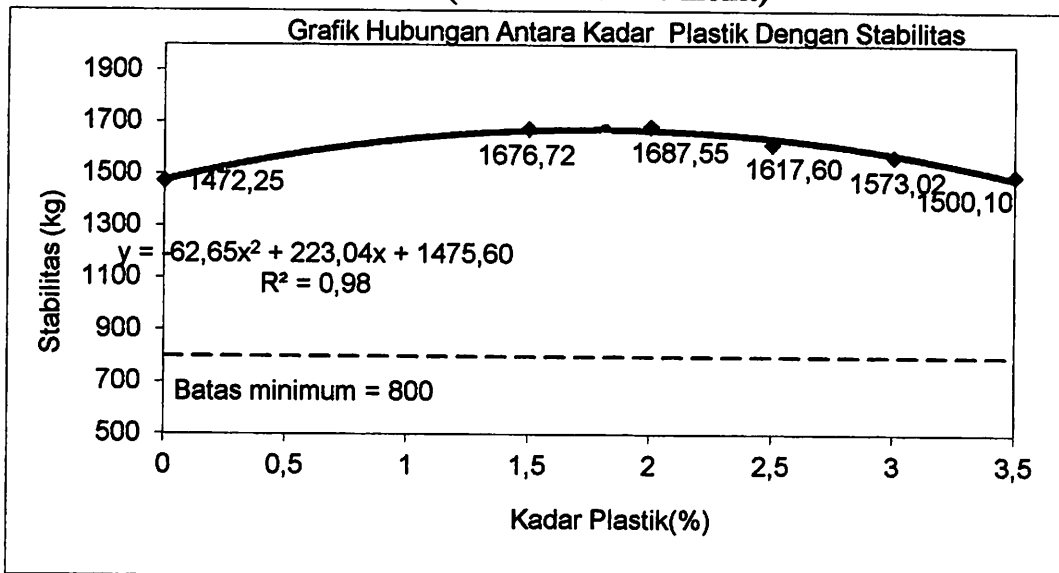
5.2.2.1. Perhitungan Menggunakan Program Microsoft Excel

Berdasarkan dari tabel 5.14 sampai 5.34. diatas dapat diplotkan data dalam grafik yng menunjukkan hubungan antara lain :

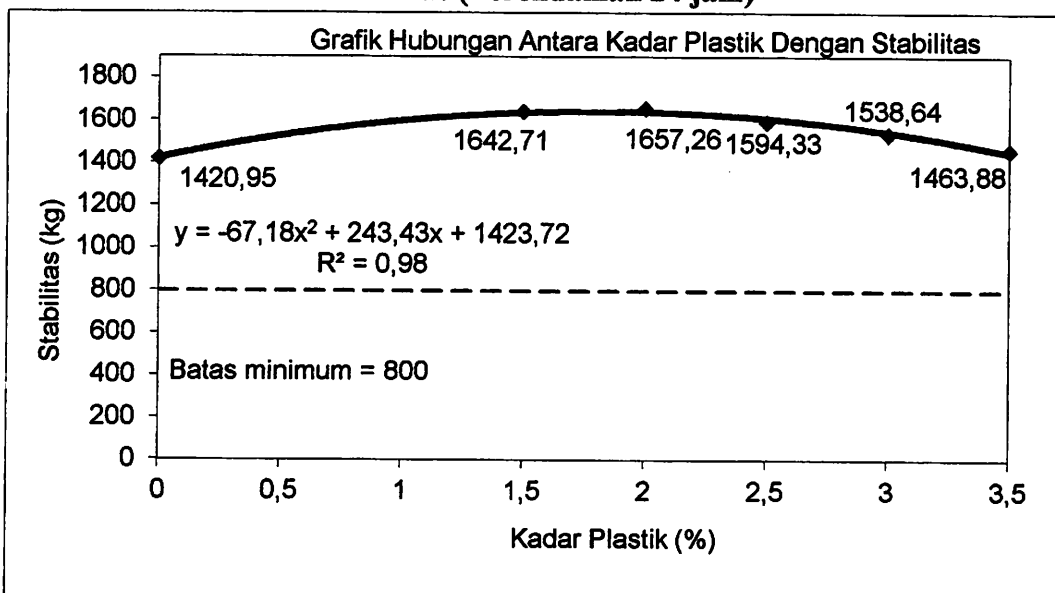
- a. Antara kadar campuran plastik dengan Stabilitas
- b. Antara kadar campuran plastik dengan Flow
- c. Antara kadar campuran plastik dengan VIM
- d. Antara kadar campuran plastik dengan VMA
- e. Antara kadar campuran plastik dengan Marshall Quotient
- f. Antara kadar campuran plastik dengan Indeks Perendaman

Perhitungan kadar campuran plastik optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter Marshall yang digambarkan dalam beberapa grafik berikut ini:

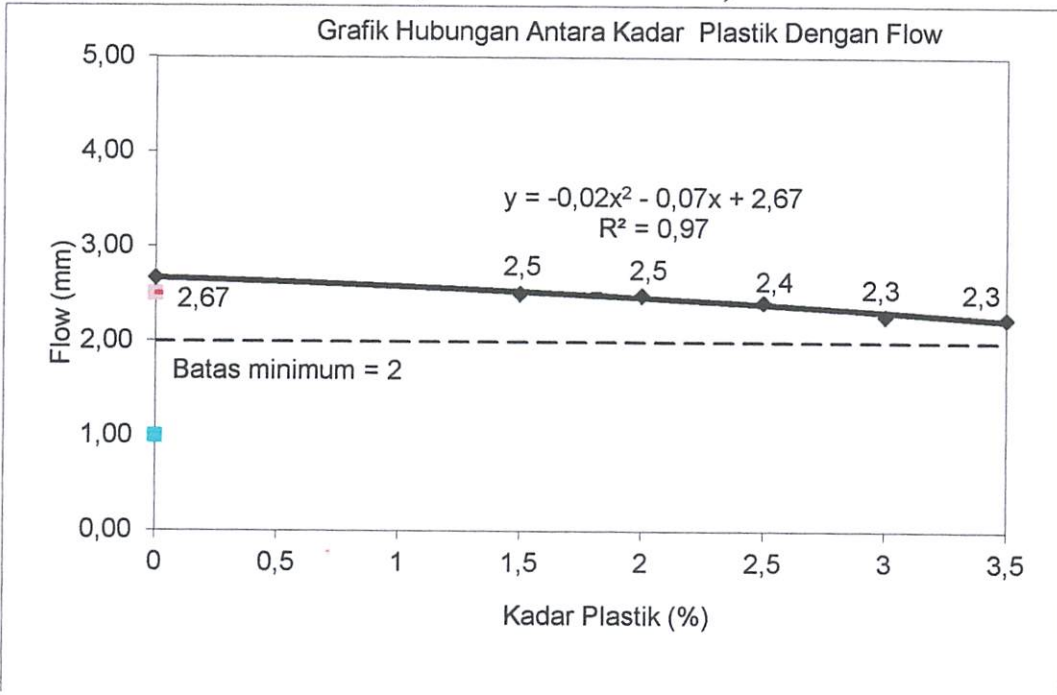
Grafik 5.1 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas (Perendaman 30 menit)



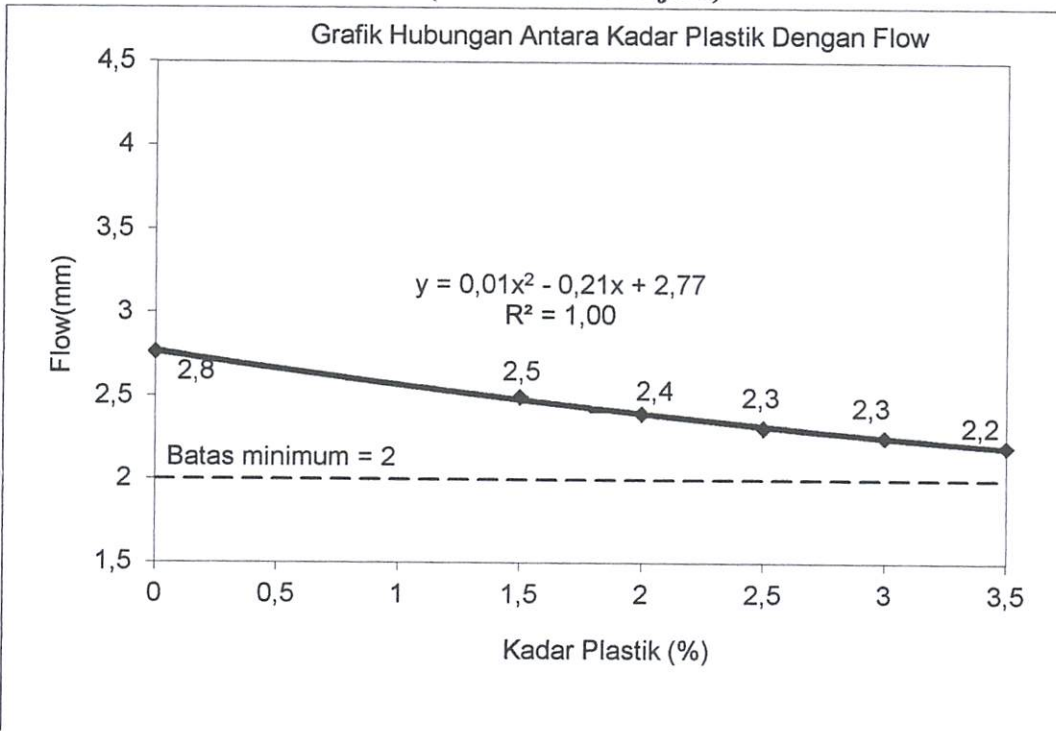
Grafik 5.2 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Stabilitas (Perendaman 24 jam)



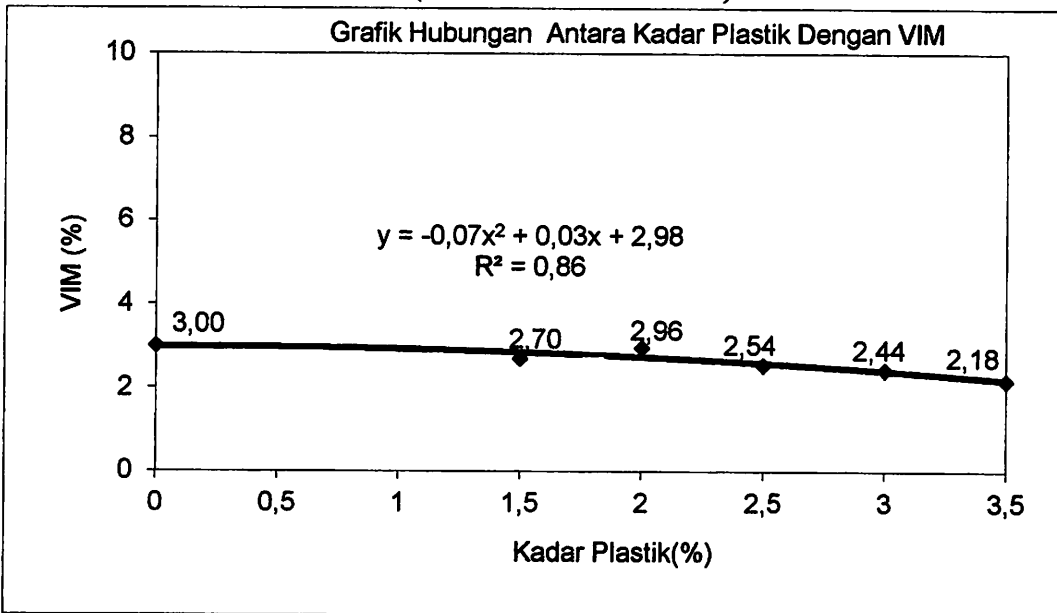
Grafik 5.3 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow (Perendaman 30 menit)



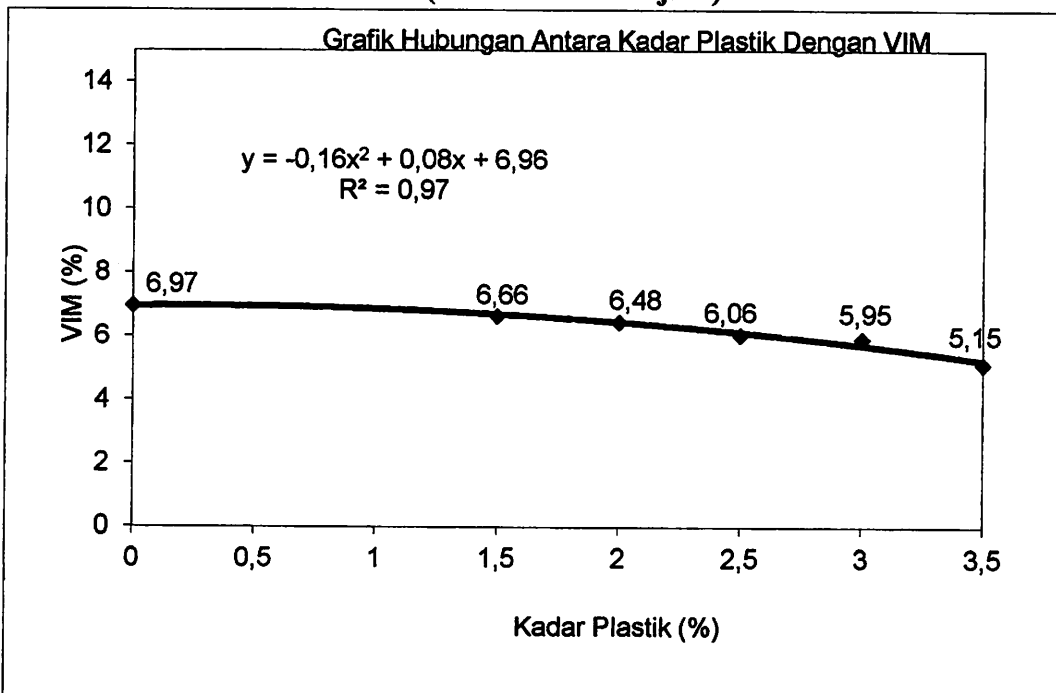
Grafik 5.4 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Flow (Perendaman 24 jam)



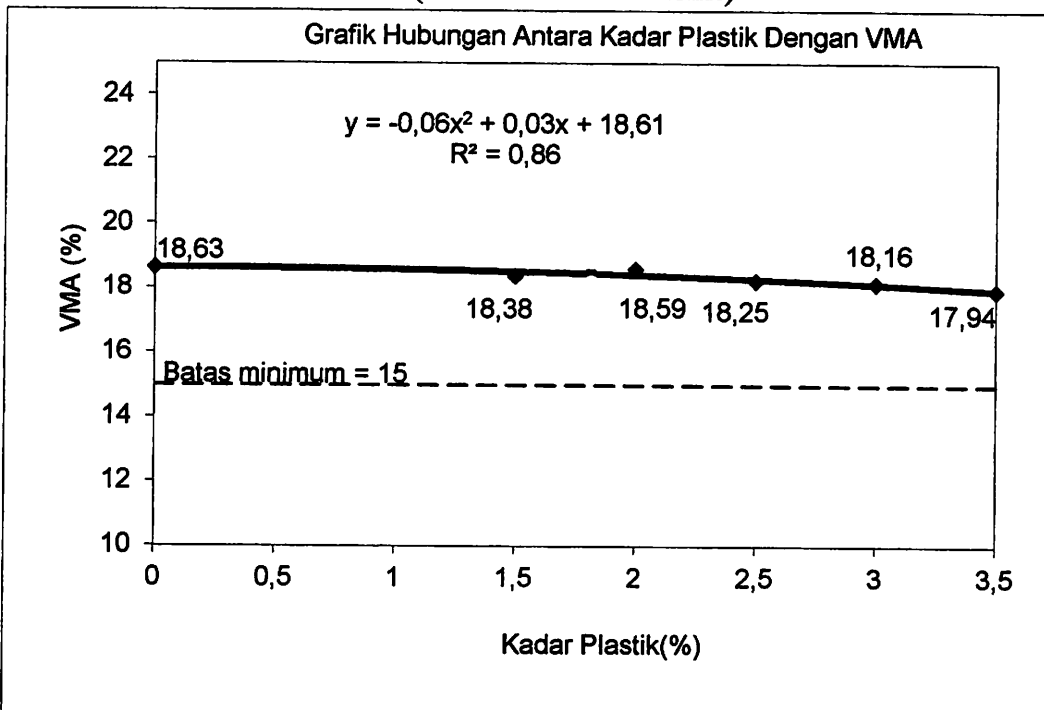
Grafik 5.5 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM (Perendaman 30 menit)



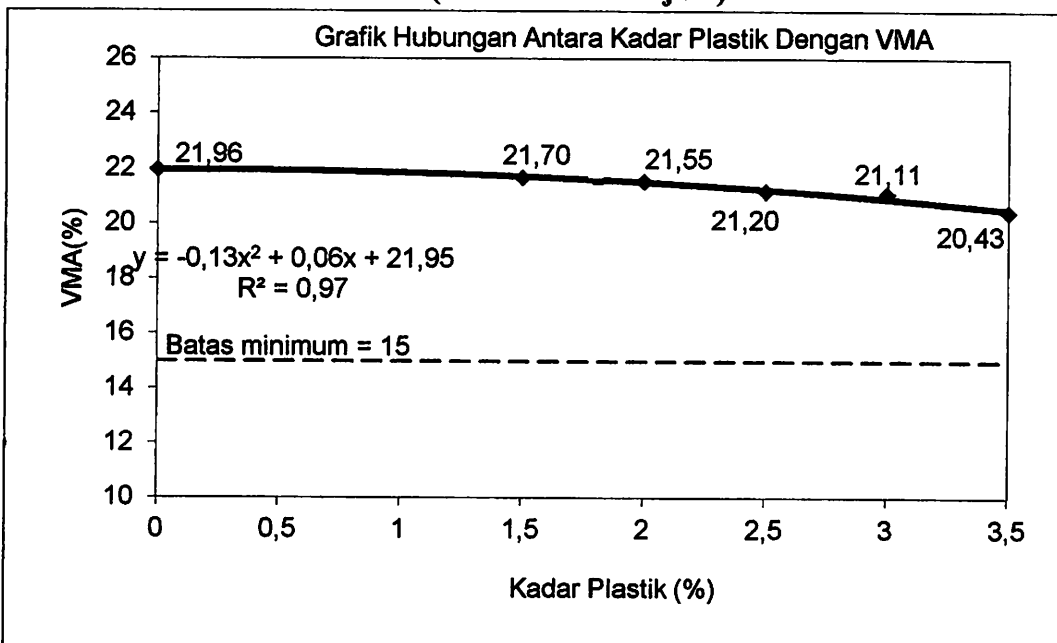
Grafik 5.6 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VIM (Perendaman 24 jam)



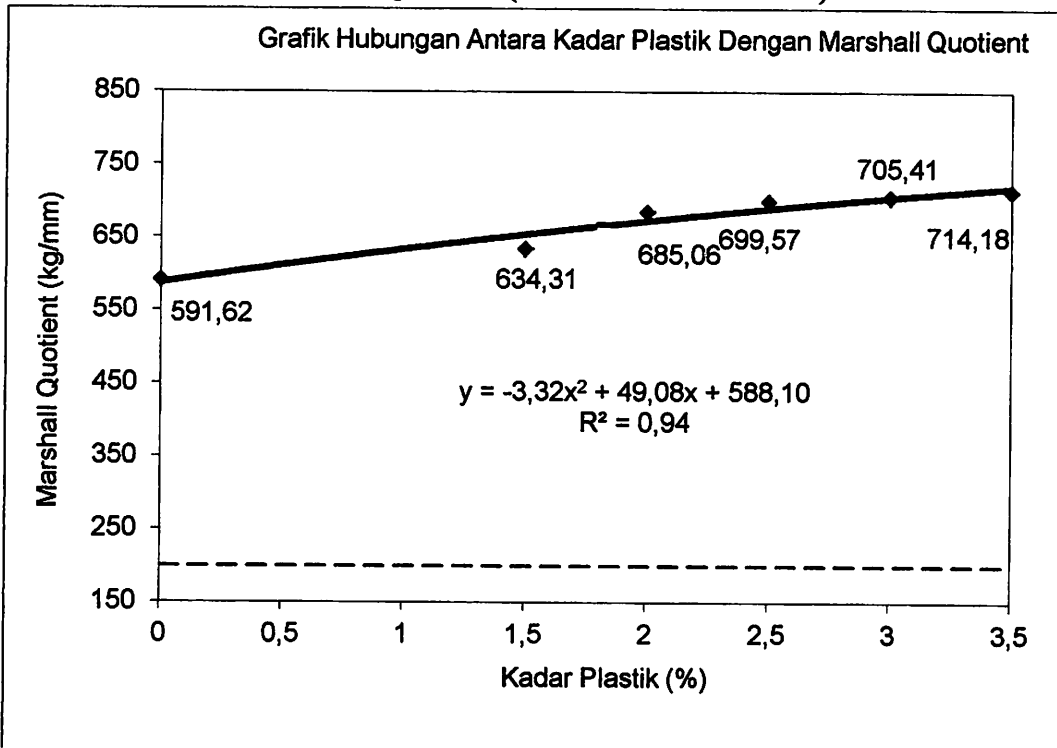
Grafik 5.7 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA (Perendaman 30 menit)



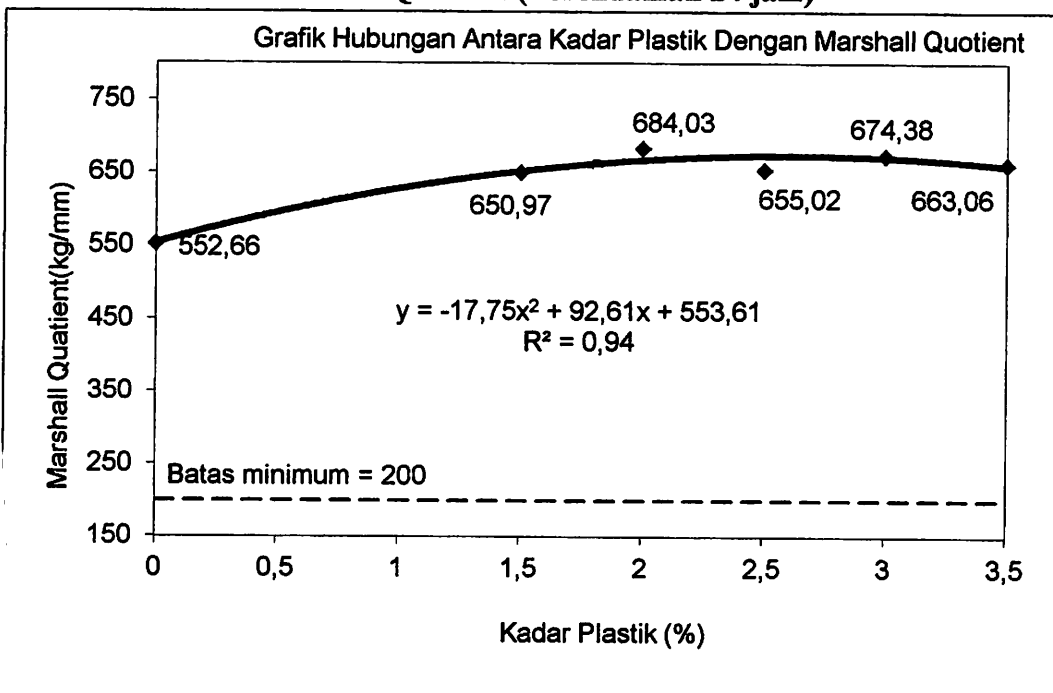
Grafik 5.8 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan VMA (Perendaman 24 jam)



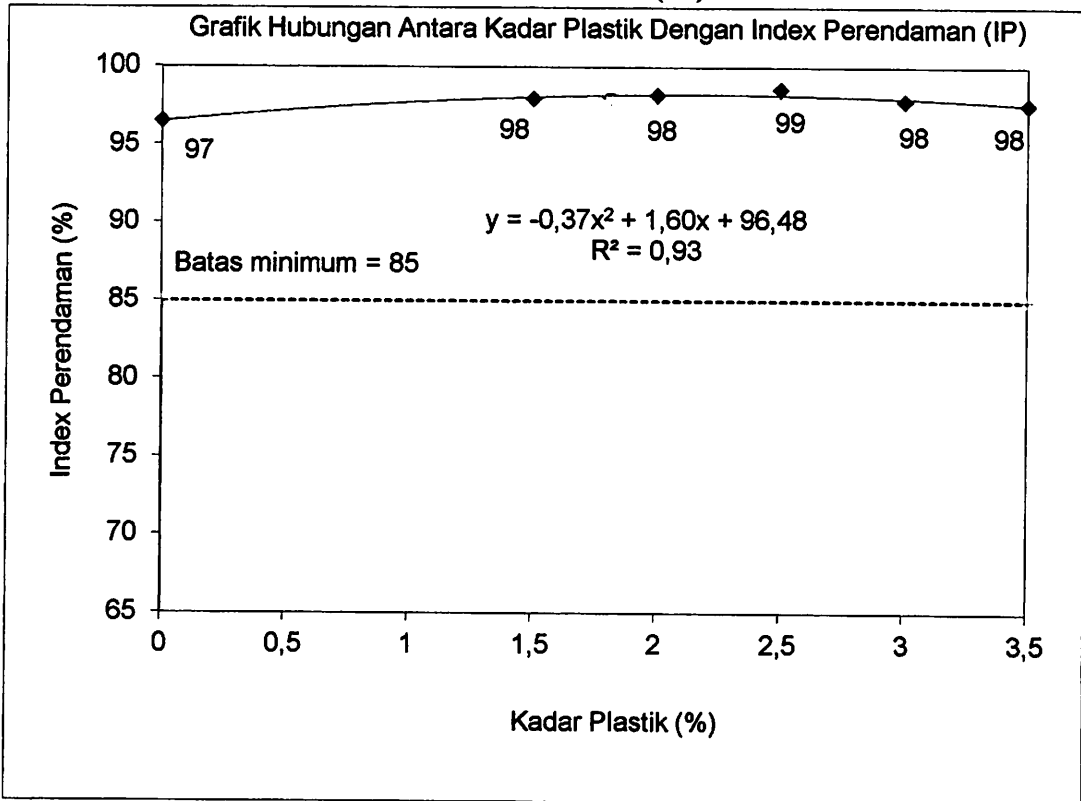
Grafik 5.9 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient (Perendaman 30 menit)



Grafik 5.10 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 jam)



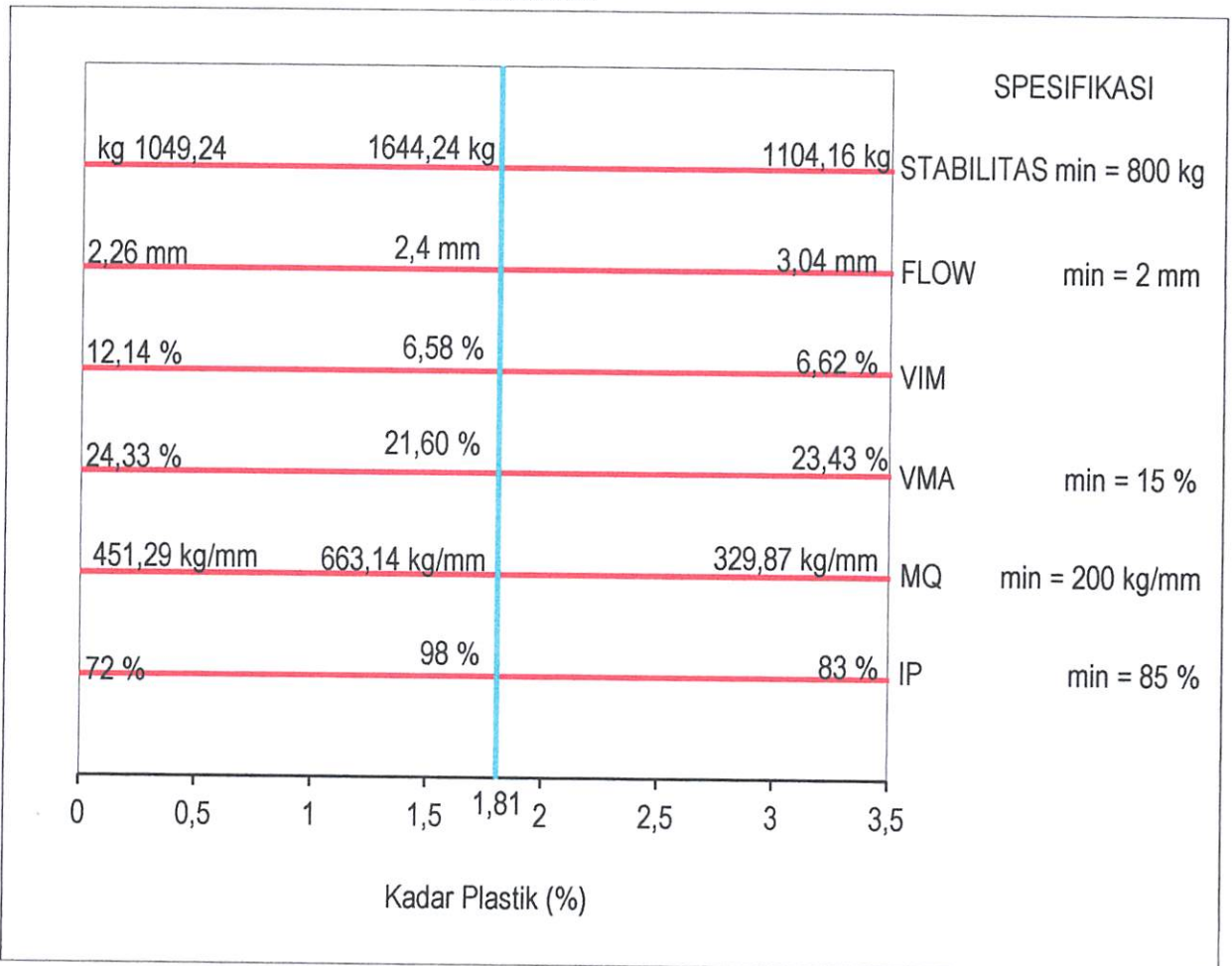
Grafik 5.11 Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Plastik dengan Indeks Perendaman (IP)



5.2.2.2. Kadar Campuran Plastik Optimum

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh Kadar Aspal Optimum sebagai berikut:

Grafik 5.12 Diagram Batang Hubungan Kadar Plastik Dengan Parameter Marshall



Dari grafik 5.2 diperoleh fungsi $y = -67,18x^2 + 243,44x + 1423,72$. Untuk

mendapatkan nilai y maksimum maka :

$$y = -67,18x^2 + 243,44x + 1423,72$$

$$\frac{dy}{dx} = 2 \times (-67,18x) + 243,44$$

$$) = -134,36x + 243,44$$

$$= \frac{-243,44}{-134,36} = 1,81$$