

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGUNAAN BATU PIROPILIT SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN
FILLER PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - WEARING
COUSE (AC-WC)**

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

Disusun Oleh :

MANICO HORACIO

NIM : 14.21.027

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT

Ir. A. Agus Santosa, MT

NIP.Y.196702181993031002

NIP.Y.1018700155

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Ir. I. Wayan Mundra, MT

NIP.Y. 1018700150

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENGUNAAN BATU PIROPILIT SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN
FILLER PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - WEARING
COUSE (AC-WC)**

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada hari : Sabtu, 04 Agustus 2018

Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

MANICO HORACIO

NIM : 14.21.027

Disahkan Oleh :

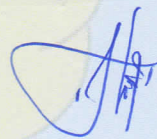
Ketua



Ir. I. Wayan Mundra, MT

NIP.Y.1018700150

Sekretaris

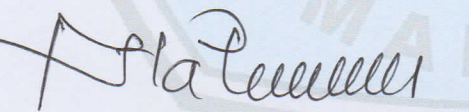


(Ir. Munasih, MT)

NIP.Y. 1028800187

Anggota Penguji:

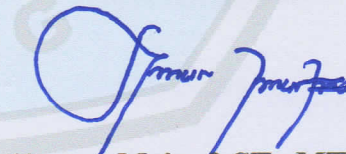
Dosen Penguji I



(Ir. Togi H. Nainggolan, MS.)

NIP.Y.1018300052

Dosen Penguji II



(Annur Ma'ruf, ST., MT.)

NIP.Y. 1031700528

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2018**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Yang telah memberikan rahmat dan lindungannya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Tak lepas dari berbagai hambatan, rintangan, dan kesulitan yang muncul, penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu tak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Lalu Mulyadi, MTA. Selaku rektor ITN malang.
2. Bapak DR. Ir. Nusa Sebayang, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan dan selaku Dosen Pembimbing 1 Laporan Skripsi
3. Bapak Ir. I Wayan Mundra, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
4. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. Selaku Dosen Pembimbing 2 Laporan Skripsi
5. Bapak Muhammad Erfan, ST, MT. Selaku Kepala Labolatorium Bahan Konstruksi ITN Malang.
6. Bapak M. Mahfud . Selaku Asisten Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang.
7. Serta rekan-rekan yang telah membantu dan memberi dorongan.

Dengan segala kerendahan hati penyusun menyadari bahwa dalam Laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penyusun harapkan, akhir kata semoga Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, September 2018

Penyusun

ABSTRAK

PENGGUNAAN BATU PIROPILIT SEBAGAI AGREGAT HALUS DAN *FILLER* PADA CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE – WEARING COUSE (AC-WC)* Manico Horacio, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang. Dosen Pembimbing: Dr,Ir. Nusa Sebayang MT ; Ir. A Agus santosa, MT.

Campuran *Asphalt concrete – wearing couse* merupakan lapisan yang langsung menderita gesekan akibat muatan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan sehingga mudah menjadi aus, untuk itu dibutuhkan suatu campuran aspal dengan penggunaan batu piropilit sebagai agregat halus dan filler dengan stabilitas yang tinggi namun tetap mempertahankan nilai kelenturannya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik parameter *marshall* akibat variasi kadar aspal pada campuran *asphalt concrete - wearing couse* pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2017.

Metode penelitian menggunakan metode pengujian *marshall* yang diperoleh dengan pembuatan benda uji sebanyak 5 buah masing-masing pengujian dilakukan pada kadar aspal bervariasi yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Benda uji menggunakan batu *piropilite* sebagai agregat halus dan *filler* pada campuran *asphalt concrete - wearing couse*. Data hasil pengujian *marshall*, kemudian di analisa secara statistik, untuk menguji hipotesis serta spesifikasi Bina Marga 2017 sebagai dasar peraturan, sehingga di dapat suatu kesimpulan akhir.

Hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut : (1) Stabilitas 1008,284 Kg, Flow 3,15mm, VIM 4,009%, VAM 16,823 %, MQ 314,046 kg/mm, VFA 98,375 %, IP 94, 698%, kadar aspal optimum sebesar 5,61%.

Kata kunci : *Asphalt Conrete – Wearing Couse (AC-WC)*, Batu Piropilite, lapisan aspal beton, spesifikasi Bina Marga 2017.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1 BABI PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3.Rumusan Masalah.....	3
1.4.Tujuan Penelitian	3
1.5.Manfaat Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah	4
1.7.Hipotensi Penelitian.....	4
BAB 2 BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1.Penelitian Terdahulu.....	6
2.2.Lapisan Aspal Beton.....	7
2.3.Beton Aspal	9

2.3.1. Jenis Beton Aspal.....	9
2.3.2. <i>Asphalt Concrete- Wearing Course (AC-WC)</i>	9
2.4. Agregat.	10
2.4.1. Jenis Agregat Berdasarkan Proses Terjadinya	10
2.4.2. Jenis Agregat Berdasarkan Pengelolaan	11
2.4.3. Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butiran Normal	12
2.4.3.1. Agregat Kasar.....	12
2.4.3.2. Agregat Halus.....	13
2.4.4. Gradasi	14
2.5. Berat Jenis Agregat.....	18
2.6. Aspal.....	19
2.6.1. Jenis Aspal	20
2.6.2. Fungsi Aspal Sebagai Materias Perkerasan Jalan.....	22
2.6.3. Pemeriksaan Aspal.....	23
2.6.3.1. Pemeriksaan Yang Dilakukan Untuk Aspal Perkerasan	24
2.6.4. Karakteristik Campuran	27
2.8. Batu Piroplit.....	30
BAB 3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Operasional Penelitian.....	31
3.2. Tempat Penelitian.....	31
3.3. Rancangan Penelitian.....	31
3.4. Persiapan Bahan.....	31
3.4.1. Persiapan Bahan.....	32
3.5. Pengujian Sifat Bahan.....	33
3.5.1. Pengujian Sifat Bahan Aspal	33
3.5.2. Pengujian Sifat Bahan Agregat	34

3.6. Penyajian Data dan Analisis.....	36
3.6.1. Penyajian Data	36
3.6.2. Analisis Data.....	36
3.7. Bagan Alir.....	37
BAB 4 BAB IV DATA PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL	39
4.1. Pemeriksaan Mutu Bahan	39
4.2. Pengujian Agregat	39
4.2.1. Pengujian Analisa Agregat Halus, Sedang dan Kasar (AASHTO T-27-82) (ASTM C-136-46).....	39
4.2.2. Pengujian Berat Isi Agregat (AASHTO T-19-80) (ASTM C-29-71)	43
4.2.3. Pengujian Angka Angularitas (<i>Angularity Number</i>) (BS 812:Part 1: 1975)	46
4.2.4. Indeks Kepipihan (<i>Flakiness Index</i>) (BS 812 : Part 1 : 1975)	48
4.2.5. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan (<i>Aggregate Impact Value</i>) (BS 812 : Part 3 : 1975)	50
4.2.6. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (AASHTO T-84-81) .	51
4.2.7. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang (AASHTO T-85-81)...	56
4.2.8. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-85-81) .	59
4.2.9. Keausan Agregat Dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles (AASHTO T-96-77 (1982)).....	62
4.3. Hasil Pengujian Aspal	63
4.3.1. Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen	63
4.3.2. Titik Nyala dan Titik Bakar (AASHTO T 48-81) (ASTM D-92-52)	65
4.3.3. Titik Lembek Aspal dan Ter (AASHTO T-53-89).....	67

4.3.4. Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter (AASHTO T-226-79)	69
4.3.5. Kehilangan Berat Minyak Dan Aspal (AASHTO T-47-82)	71
4.3.6. Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen	73
4.4. Perencanaan Komposisi Campuran	75
4.4.1. Perhitungan Presentase Agregat dengan Metode Grafis	75
4.5. Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal	77
4.6. Marshall Test	79
4.6.1. Maksud dan Tujuan	79
4.6.2. Hasil Pengujian	80
BAB 5 BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	81
5.1. Perhitungan Mencari Kadar Aspal Optimum	81
5.1.1. Data Hasil Pengujian Marshall	81
5.1.2. Pengujian Interval Kepercayaan	94
5.2. Perhitungan Indeks Perendaman (IP)	108
5.3. Menentukan Kadar Aspal Optimum	108
5.4. Pengujian Hipotesis	117
5.5. Analisis Regresi dan Pembahasan	120
5.5.1. Analisa Regresi	120
5.5.2. Pembahasan	122
5.5.3. Kadar Aspal optimum	128
BAB 6 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	131
6.1. Kesimpulan	131
6.2. Saran	131

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)	7
2.2. Ketentuan Agregat Kasar.....	12
2.3. Ketentuan Agregat Halus.....	13
2.4. Ukuran Bukaan Saringan.....	14
2.5. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal.....	17
2.6. Tabel aspal cair	21
2.7. Ketentuan Spesifikasi Aspal.....	25
3.1. Persyaratan Aspal Keras Pen.60/70	33
3.2. Jenis dan Metode Pengujian Agregat.....	34
4.1. Analisa Saringan Agregat Kasar produksi AMP PT,MRS Bululawang	39
4.2. Analisa Saringan Agregat Sedang produksi AMP PT,MRS Bululawang.....	40
4.3. Analisa Saringan Agregat Halus produksi AMP PT,MRS Bululawang	41
4.3. Analisa Saringan Agregat Halus dari batu Piropilit.....	42
4.4. Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	43
4.5. Hasil Pengujian Angka Angularitas (<i>Angularity Number</i>)	45
4.6. Hasil Pengujian <i>Flakiness Index</i>	48
4.7. Hasil Pengujian <i>Aggregate Impact Value</i>	49
4.8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	51
4.9. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus Batu Piropilit.....	53
4.10. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang	56
4.11. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	59
4.12. Hasil Pengujian Keausan Agregat Menggunakan Alat Los Angeles	61
4.13. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sebelum Kehilangan Berat.....	63

4.14 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat	63
4.15. Hasil Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar.....	65
4.16. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Sebelum Kehilangan Berat .	66
4.17. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Setelah Kehilangan Berat	67
4.18. Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter	68
4.19. Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal	71
4.20. Hasil Pengujian Daktilitas Sebelum Kehilangan Berat	73
4.21. Komposisi Campuran Persentase Agregat Spesifikasi AC-WC	75
4.22. Perencanaan Komposisi Campuran	77
5.1. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C.....	83
5.2. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C.....	84
5.3. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C.....	85
5.4. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C.....	86
5.5. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C.....	87
5.6. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C	88
5.7. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C	89
5.8. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C	90
5.9. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C	91

5.10. Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C	92
5.11. Data Pengujian Stabilitas.....	93
5.12. Data Pengujian Stabilitas terhadap Berat Aspal setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan	94
5.13. Interval Kepercayaan Stabilitas (Perendaman 30 Menit).....	95
5.14. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 Menit)	95
5.15 Interval Kepercayaan Flow (Perendaman 30 Menit)	96
5.16. Data Pengujian Flow setelah dilakukkan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)	96
5.17. Interval Kepercayaan VIM (Perendaman 30 Menit)	97
5.18 Data Pengujian VIM setelah dilakukkan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)	97
5.19 Interval Kepercayaan VMA (Perendaman 30 Menit).....	98
5.20 Data Pengujian VMA setelah dilakukkan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)	98
5.21 Interval Kepercayaan Marshall Quotient (Perendaman 30 Menit)	99
5.22 Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukkan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)	99
5.23 Interval Kepercayaan VFA (Perendaman 30 Menit)	100
5.24 Data Pengujian VFA setelah dilakukkan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)	100
5.25 Interval Kepercayaan Stabilitas (Perendaman 24 Jam)	101
5.26. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 Jam).....	101
5.27 Interval Kepercayaan Flow (Perendaman 24 Jam)	102

5.28. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 Jam).....	102
5.29 Interval Kepercayaan VIM (Perendaman 24 Jam).....	103
5.30. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 Jam).....	103
5.31 Interval Kepercayaan VAM (Perendaman 24 Jam)	104
5.32. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VAM (Perendaman 24 Jam).....	104
5.33 Interval Kepercayaan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam).....	105
5.34. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam)	105
5.35 Interval Kepercayaan VFA (Perendaman 24 Jam).....	106
5.36. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA (Perendaman 24 Jam).....	106
5.37 Data Indeks Perendaman	107
5.38. Data Stabilitas dengan kadar Aspal (30 menit).....	115
5.39. Analisa Varian Untuk Stabilitas	117
5.40. Analisa varian untuk satu arah.....	118
5.41. Daftar Nilai yang perlu untuk menentukan Regresi	119
6.1. Nilai Optimum Berdasarkan Parameter Pengujian	131

DAFTAR GRAFIK

2.1. <i>Asphalt concret – wearing couse</i>	9
2.2 Gradasi Seragam	16
2.3 Gradasi Senjang	16
4.1.Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat	74
5.1.Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 Menit)	108
5.2.Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 Jam).....	108
5.3. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 30 Menit)	109
5.4. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 Jam).....	109
5.5. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 30 Menit)	110
5.6. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 Jam).....	110
5.7. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA.....	111
5.8. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 24 Jam).....	111
5.9. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient	112
5.10.Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam)	112
5.11. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA	113

5.12. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA (Perendaman 24 Jam).....	114
5.13. Grafik Gabungan antara Stabilitas dan Flow	114
5.14. Grafik Gabungan antara VIM dan VMA.....	115
5.15. Grafik Gabungan antara Marshall Quotient dan VFA.....	115
5.16. Grafik Gabungan antara Kadar Aspal dengan Indeks Perendaman.....	115
5.77. Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC	127

DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambar 2.1. <i>Asphalt concret – wearing couse</i>	10
2.2 Gambar 2.2 Gradasi Seragam	17
2.3 Gambar 2.3 Gradasi Senjang	18
2.4 Gambar 4.1. Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat	76

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga (Revisi3)*. Jawa Timur : DPA-SKPD APBD.
- Bina Marga. 2017. *Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga*. Timur: DPA-SKPD APBD.
- Keren, R., Gross, P.R., and Sparks, D.L 1994, *Equilibrium and Kinetics of orate Adsorption-Desorption on Pyrophyllite in Aqueous*.
- Lasmini Ambarwati dkk. 2009. Campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) dengan Material Piropilit sebagai *filler* yang Tahan Hujan Asam.
- Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, 2008, Buku Petunjuk Praktikum Jalan Raya. Malang : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan : ITN Malang
- M Zainul Arifin, dkk, 2009. Pengaruh Penggunaan Komposisi Batu Pecah dan Piropilit sebagai Agregat Kasar dengan Variasi Kadar Aspal terhadap Stabilitas Campuran (HRS) *Hot Rolled Sheet*.
- Mutrofm, dkk. 2005. Karakteristik Mineral Piropilit Sumbermanjing, Malang Selatan, Fakultas MIPA, Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Malang.
- Sukirman, S., 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung.
- Sukriman, S., 2003. Beton Aspal Campuran Panas, Penerbit Granit, Bandung.
- Sulaksono, S., 2001. Rekayasa Jalan, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- The Asphalt Institute, 1983. *Asphalt Technology and Construction Practices*, Maryland, USA.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Asphalt concrete - wearing course (AC-WC) merupakan lapisan yang terletak dibagian atas berdasarkan susunan perkerasan aspal dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkannya kelapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan. Keadaan iklim yang tropis serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada lapisan *asphalt concrete-wearing course*. Untuk itu dibutuhkan suatu campuran aspal dengan stabilitas yang tinggi namun tetap mempertahankan nilai kelenturannya, kinerja campuran ini dipengaruhi oleh karakteristik bahan pencampurnya yang terdiri dari agregat kasar, agregat sedang, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

Untuk mendapatkan mutu perkerasan yang memenuhi persyaratan perlu diperhatikan bahan-bahan yang ada. Yang dimaksud agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran yang berupa berbagai jenis butiran atau agregat yang termasuk di dalamnya antara lain pasir, kerikil, dan batu pecah. Dengan tersedianya banyak batu Piropilit, mendorong peneliti untuk mengadakan penelitian tentang batu Piropilit sebagai bahan agregat halus dan filler dalam campuran aspal beton. Dilihat secara sekilas, batu Piropilit dianggap kekerasannya sebanding dengan batu kerikil dari sungai yang telah digunakan secara luas untuk konstruksi jalan di Indonesia.

Pyrophyllite (Piropilit) adalah material dengan kandungan silika yang tinggi dan, bentuk kristal monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk, Piropilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi, Penggunaan *filler dan agregat halus piropilit ini*

diharapkan bisa memberikan pengaruh ikatan yang baik di dalam campuran aspal. Dimana *filler* dan agregat halus piropilit mengisi rongga-rongga dalam campuran dan diharapkan dapat mengurangi penggunaan kadar aspal dalam campuran. Selain itu *filler* dan agregat halus piropilit yang digunakan dalam campuran lapis permukaan jalan raya sesuai dengan kandungan yang dimiliki piropilit yaitu silika dapat teraktifasi. (Karen, et al,1994).

Batu Piropilit memiliki ketersediaan cukup banyak (jutaan ton) dan berada pada kawasan luas di Jawa Timur daerah Malang selatan khususnya kecamatan Sumbermanjing, dan batu Piropilit yang digunakan dalam penelitian ini di ambil dari sisaan pengelola pabrik PT Senopati yang tidak dimanfaatkan baik oleh pabrik PT Senopati tersebut.

Lapis aspal beton berfungsi untuk mendapatkan lapis permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan dan mampu memberikan daya dukung tertentu, juga berfungsi sebagai lapis kedap air yang gunanya melindungi konstruksi di bawahnya. Laston mempunyai sifat, antara lain tahan terhadap keausan akibat beban di atasnya, kedap air, nilai structural yang baik, stabilitas yang tinggi, dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan.

Berdasarkan hal tersebut di atas, akan diteliti pengaruh penggunaan batu Piropilit sebagai pengganti agregat halus dan filler yang selama ini menggunakan batu pecah dan abu batu pada campuran aspal beton *Asphal Concrete- Wearing Couse* (AC-WC), apakah akan memenuhi persyaratan karakteristik aspal beton yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum , Perkerasan Aspal (Bina Marga, 2010), seperti : stabilitas, flow (kelelehan plastis), VIM (*void in the mix* atau rongga udara pada campuran setelah pemadatan), VMA (*void filled with asphalt* atau rongga udara yang terisi aspal), VFA (*void filled with asphalt* atau rongga udara pada mineral agregat) dengan lima variasi batu kapur dengan pengujian menggunakan alat Marshall.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka identifikasi masalahnya sebagai berikut ini:

1. Meneliti perbedaan nilai karakteristik pada campuran *Asphalt concrete wearing Course* (AC-WC) dengan penggunaan batu piropilit sebagai agregat halus dan filler.
2. Terkait dengan Batu piropilit yang mempunyai sifat kandungan silika yang tinggi dan sifat fisik kimia yang mirip dengan talk, Apakah Batu Piropilit bisa digunakan sebagai agregat halus dan filler untuk campuran AC-WC.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang di atas maka dirumusan masalah sebagai berikut ini :

1. Apakah ada perbedaan nilai karakteristik pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-CW) dengan penggunaan batu piropilit sebagai agregat halus dan *filler* ?
2. Apakah batu piropilit bisa digunakan sebagai agregat halus dan *filler* pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) ?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Skripsi ini adalah :

1. Mengetahui perbedaan nilai karakteristik pada campuran AC-WC dengan penggunaan batu piropilit sebagai agregat halus dan *filler*
2. Mengetahui batu piropilit jika di gunakan sebagai agregat halus dan *filler*

1.5 Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini akan menghasilkan pemikiran baru guna memberikan masukan kepada semua pihak yang membutuhkan , yaitu :

1. Untuk peneliti
Untuk memberikan informasi dasar untuk penelitian selanjutnya memberikan tambahan pengetahuan di samping mata kuliah yang berikan.

2. Untuk pratisi dan Instansi Terkait

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan dapat di gunakan sebagai bahan pertimbangan bila suatu saat penggunaan aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan perkerasan AC-WC sehingga dapat di sesuaikan dengan kondisi pada proyek.

3. Untuk masyarakat dapat menggukan secara maksimal sumber daya alam dan juga dapat meningkatkan taraf perekonomian masyarakat sekitarnya.

1.6 Batasan Masalah

Untuk membatasi penelitian dan memberikan langkah-langkah sistematis, maka lingkup permasalahan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut ini:

1. Aspal yang digunakan adalah aspal keras penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina yang memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI).
2. Menggunakan batu piropilit dari kecamatan Sumbermanjing sebagai agregat halus dan filler.
3. Penggunaan Agregat Halus berukuran 0/5 mm dari batu Batu Piropilit 100%
4. Agregat kasar ,Agregat sedang dan halus batu pecah , produksi dari PT. MRS, Bululawang.
5. Variasi kadar aspal sebesar 4,5%,5%,5,5%,6% dan 6,5%
6. Tidak membahas Variasi kadar *Filler*.
7. Kadar *filler* yang di gunakan sesuai perhitungan.

1.7 Hipotensi Penelitian

Hipotensi penelitian merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan yang di ajukan dalam rumusan masalah. Sementara ini masih kurang lengkap, sehingga memerlukan pengujian berdasarkan fakta yang di kumpulkan:

1. Hipotesis nihil (H_0) yaitu menyatakan tidak adanya perubahan nilai karakteristik *marshall* pada penggunaan batu piropilit seebagai agregat halus dan *filler* pada campuran *asphalt concrete – wearing course* (AC-WC).

2. Hipotesis alternatif (Ha) menyatakan adanya perbedaan nilai karakteristik *Marshall* pada penggunaan batu piropilit sebagai agregat halus dan *filler* pada campuran *asphalt concrete – wearing couse* (AC-WC).

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

1.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu oleh (M Zainul Arifin, Hendi Bowoputro, Amelia Yuwananingtyas S. Dan Fahrini Rasfiah A 2009). Dengan judul pengaruh penggunaan komposisi batu pecah dan piropilit sebagai agregat kasar dengan variasi kadar aspal terhadap stabilitas dan durabilitas campuran HRS (Hot Rolled sheet), Campuran HRS dibuat dengan variasi kadar aspal 6,5%, 7%, 7,5%, 8% dan 8,5% dengan komposisi piropilit sebagai agregat kasar (100/0, 75/25, 50/50, 25/75 dan 0/100) untuk mendapatkan kadar aspal dan komposisi agregat kasar optimum. Hasil penelitian pada tahap pertama digunakan untuk menguji Marshall *Immersion*. Pengujian ini dilakukan pada kondisi standar dan non standar. Pengujian ini terdiri 10 perlakuan dengan 5 kali pengulangan yang direndam pada larutan asam selama 54 detik. Sebagai pembandingan dibuat benda uji tanpa diberi larutan asam, terdiri dari 2 perlakuan dengan 5 kali pengulangan dengan lama waktu perlakuan 1, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari hasil pengujian statistik diperoleh nilai kadar aspal optimum 7,289%, komposisi piropilit sebagai agregat kasar optimum 30,474% dan komposisi batu pecah sebagai agregat kasar optimum 69,526%. Sehingga diperoleh nilai stabilitas pada kondisi optimum 1598,768%. Hasil pengujian statistik juga menunjukkan nilai stabilitas marshall *standard* dan stabilitas marsall *immersion* semakin meningkat dengan bertambahnya lama waktu perlakuan dan mencapai nilai maksimum pada umur 21 hari kemudian menurun sehingga nilai durabilitas yang diperoleh cenderung sama. Penggunaan piropilit pada komposisi agregat kasar juga dapat menyebabkan penghematan aspal sebesar 4% dibandingkan tanpa menggunakan piropilit. Nilai Indeks kekuatan sisa maksimum 98,280% diperoleh pada lama waktu perlakuan 21 hari.

(Lasmini Ambarwati dan M. Zainul Arifin 2009) dengan judul Campuran Hot Rolled Sheet (HRS) dengan material piropilit sebagai filler yang tahan hujan asam Dengan kerentanan HRS terhadap hujan bersifat asam, maka penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran asam sebagai hujan terhadap stabilitas dan durabilitas pada campuran HRS dengan menggunakan piropilit sebagai *filler*. Campuran HRS dibuat dengan 7 variasi kadar aspal (6 %, 6.5 %, 7 %, 7.5 %, 8 %, 8.5 % dan 9 %) serta 5 variasi kadar *filler* (9/0 %, 6/3 %, 4/5 %, 2/7 % dan 0/9 %) untuk mendapatkan kadar aspal optimum dan kadar *filler* optimum. Setelah didapat kadar aspal optimum dan kadar *filler* optimum untuk campuran HRS, kemudian dibuat 12 benda uji (bu) pada kondisi optimum untuk direndam campuran asam selama 54 detik setiap hari selama 28 hari, sehingga akan dianalisis nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa). Berdasarkan kadar aspal optimum 6.336 % terhadap berat total agregat dan kadar *filler* optimum 4.987 % terhadap berat aspal. Nilai karakteristik campuran HRS pada kondisi optimum adalah VIM (*Void in Mix*) 3.934 %, VMA (*Void in Mineral*) 18.677 %, stabilitas 1.269,151 kg, *flow* sebesar 2,920 mm dan MQ (*Marshall Quantity*) 825.017 kg/mm serta nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa) 98,551 %. Dimana nilai yang dihasilkan memenuhi spesifikasi standar PU Bina Marga. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa polusi udara yang terjadi di kota Surabaya masih aman/ tidak berpengaruh terhadap nilai stabilitas dan durabilitas dari campuran HRS dengan menggunakan piropilit sebagai *filler*.

1.2 Lapisan Aspal Beton

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, S.,1992).

Ciri lainnya adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku. (Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2010). Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.

3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi. Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 untuk Laston (AC) bergradasi kasar, tertera pada Tabel 2.1. berikut ini:

Tabel 2.1. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per Bidang		75				112	
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam , 60 C (%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2,5					

Sumber: Bina Marga, 2010

1.3 Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika semen aspal, maka pencampuran umumnya antara 145-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Campuran ini dikenal dengan nama *hotmix* Beton aspal yang menggunakan aspal cair dapat dicampur pada suhu ruang, sehingga dinamakan *coldmix* (Sukirman, 2003).

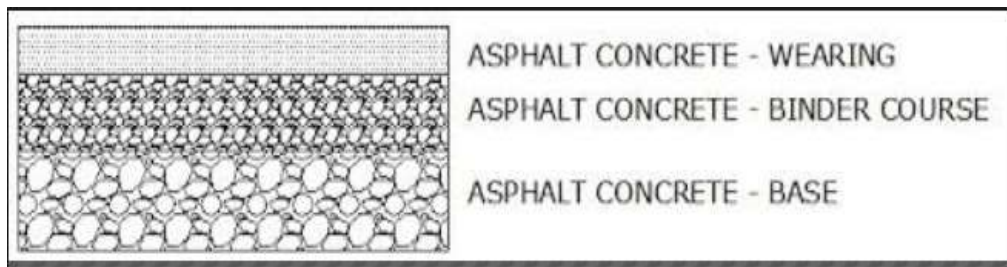
1.3.1 Jenis Beton Aspal

Jenis beton aspal dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk beton aspal. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran beton aspal dapat dibedakan atas :

1. Beton aspal campuran panas (*hotmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton aspal campuran sedang (*warmmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Beton aspal campuran panas (*coldmix*), adalah beton aspal yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 25°C.

1.3.2 Asphalt Concrete- Wearing Course (AC-WC)

Asphalt concrete - wearing course merupakan lapisan yang terletak dibagian atas berdasarkan susunan perkerasan aspal dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan. Keadaan iklim yang tropis serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada lapisan asphalt concrete-wearing course.



Gambar 2.1. *Asphalt concret – wearing couse*

1.4 Agregat

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

Menurut Silvia Sukirman, (2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral ppadat beruppa ukuran besar mauppun kecil atau fragmen-fragmen. Banyaknya agregat dalam campuran aspal pada umumnya berkisar antara 90% sampai dengan 95% terhadap total berat campuran atau 70% sampai dengan 85% terhadap volume campuran aspal.

1.4.1 Jenis Agregat Perdasarkan Proses Terjadinya

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*) dan agregat metamorfik (*metamorphic rock*), Agregat beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku luar dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi disaat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya agregat beku luar berbutir halus.

Agregat beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar dari permukaan bumi, mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan didalam bumi, dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Agregat beku dalam umumnya bertekstur kasar.

Agregat sedimen dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut, dan sebagainya.

Agregat metamorfik adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi (Sukirman, 2003).

1.4.2 Jenis Agregat Berdasarkan Pengelola

Berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan atas agregat siap pakai, dan agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai. Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi atau degradasi. Agregat siap pakai sering disebut sebagai agregat alam. Bentuk dari partikel agregat alam ditentukan berdasarkan proses yang dialaminya. Aliran air menyebabkan erosi pada agregat, sehingga partikel agregatnya cenderung bulat-bulat, dengan tekstur permukaan licin. Proses degradasi agregat di bukit-bukit akan membentuk agregat bersudut, dan kasar. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan, yaitu kerikil dan pasir.

Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai, adalah agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung ataupun di sungai-sungai. Agregat di gunung dan di bukit pada umumnya ditemui dalam bentuk masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu supaya dapat diangkat ke mesin pemecah batu (*stone crusher*). Sungai-sungai yang membawa agregat di musim

hujan, umumnya membawa agregat ukuran besar sehingga tidak memenuhi persyaratan ukuran yang ditentukan. Agar agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan, agregat ini harus dioalah dahulu secara manual, dengan mempergunakan tenaga manusia, atau melalui proses mekanis di mesin pemecah batu. Agregat yang berasal dari gunung, bukit, dan sungai yang perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu menggunakan mesin pemecah batu, yang umumnya lebih baik sebagai material perkerasan jalan, karena mempunyai bidang pecahan, bertekstur kasar dan ukuran agregat sesuai dengan yang diinginkan. Di samping itu terdapat pula agregat yang merupakan hasil olahan pabrik seperti semen dan kapur, atau limbah industri seperti abu terbang (Sukirman, 2003).

1.4.3 Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butiran Normal

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

The Asphalt Institut dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi baru Campuran Panas, 2002 membedakan agregat menjadi:

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.8 (=2,36mm).
2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.8 (=2,36mm).
3. Bahan pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.30 (=0,60mm) (Sukirman, 2003)

Pembagian Agregat Berdasarkan Ukuran Butiran Menurut Bina Marga (2010):

1. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm).
2. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm).
3. Bahan Pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% ss lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

1.4.3.1 Agregat Kasar

Agregat kasar menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin kamanan dalam berkendara. Agregat kasar juga mempunyai berbagai bentuk butiran, Bentuk butiran yang bulat (*particle shape*) memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila akan digunakan sebagai campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) , untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi.

Menurut Spesifikasi Bina Marga, agregat kasar dalam campuran harus memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3470:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angles</i>	Campuran AC bergradasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua Campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan Agregat terhadap aspal		SNI	Maks. 90%
<i>Angularitas</i> (kedalaman dari permukaan <10 cm)		<i>DoT's Pennsylvania Test Method, PTM</i>	95/90*
<i>Angularitas</i> (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)		No.621	80/75*
Partikel Piipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1: 5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks 1%

Sumber: Spesifikasi, Bina Marga, 2010.

1.4.3.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam campuran AC dapat menggunakan pasir alam yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran). Dan agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam table

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi
Material Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)		Min. 40

Sumber: Spesifikasi, Bina Marga, 2010.

1.4.4 Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan sifat yang luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Gradasi agregat terdiri dari susunan butir

agregat yang sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2½ inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, ⅜ inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci panjang. Tabel yang menunjukkan bukaan dari masing-masing saringan berdasarkan *AASHTO*. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisis pemeriksaan dengan menggunakan satu set saringan. Saringan berukuran bukaan paling besar diletakkan teratas, dan yang paling halus (No.200), terbawah sebelum pan. Jadi satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup saringan. Ukuran Bukaan Saringan dapat dilihat pada tabel

Tabel 2.4 Ukuran Bukaan Saringan

No.	Ukuran Saringan (inci)	Bukaan (mm)
1.	1	25
2.	¾	19
3.	½	12,5
4.	3/8	9,5
5.	No. 4	4,75
6.	No. 8	2,36
7.	No. 10	2,00
8.	No. 16	1,18
10.	No. 25	0,71
11.	No. 30	0,6
12.	No. 40	0,425
13.	No. 50	0,28
14.	No. 80	0,18
15.	No. 100	0,15
16.	No. 200	0,075

Sumber: Spesifikasi, Bina Marga, 2010.

Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan agregat berukuran besar, akan diisi oleh agregat berukuran lebih kecil. Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi:

1. Agregat Bergradasi Baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Agregat bergradasi baik disebut juga agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

- a. Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran terus menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
- b. Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus. Agregat bergradasi baik atau buruk dapat diperiksa dengan menggunakan rumus *filler*. Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung *Fuller*. Agregat dapat ditentukan termasuk pada agregat bergradasi baik atau buruk dengan cara diperiksa dengan mempergunakan rumus *filler*:

$$\text{Rumus } Filler: P = 100 \left[\frac{d}{D} \right]^{0,45}$$

Dimana:

P = persen lolos saringan dengan bukaan saringan, mm.

d = ukuran agregat yang diperiksa, mm.

D = ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran, mm.

2. Agregat Bergradasi Buruk

Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai macam gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti:

a. Gradasi seragam (*uniform grade*)

Adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.



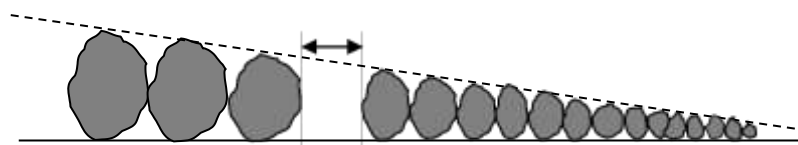
Gambar 2.2 Gradasi Seragam

b. Agregat bergradasi terbuka

Agregat bergradasi terbuka adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.

c. Agregat gradasi senjang (*gap graded*)

Merupakan campuran yang tidak memenuhi 2 kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit. Gradasi seperti ini disebut juga gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.



Gambar 2.3 Gradasi Senjang

Kombinasi gradasi agregat campuran dinyatakan dalam persen berat agregat. Titik-titik kontrol berfungsi sebagai batas rentang dimana suatu target gradasi harus lewat titik-titik tersebut diletakkan di ukuran maksimum nominal dan dipertengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm).

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran													
Ukuran Ayakan (mm)	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Las						
			Gradasi Senjang	Gradasi Semi Senjang		Gradasi Halus			Gradasi Kasar				
	Kelas	Kelas		W	Base	WC	Base	WC	B	Base	WC	B	Base
37,5										100			100
25									100	90-100		100	90-100
19	10	100	1	100	100	100	100	90-100	73-90	100	90-100	73-90	
12,5			90-100	90-	87-	90-100	90-100	74-90	61-79	90-100	71-90	55-76	
9,5	90-		75-85	65-90	55-88	55-70	72-90	64-82	47-67	72-90	58-80	45-66	
4,75							54-69	47-64	39,5-	43-63	37-56	28-55	
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	39,1-	34,6-	20,8-	28-	23-	19-	
1,18							31,6-	28,3-	24,1-	19-	15-	12-	
0,6			35-60	15-35	20-45	20-45	23,1-	20,7-	17,6-	13-	10-	7-13,6	
0,3					15-35	15-35	15,5-	13,7-	11,4-	9-15,5	7-13,7	5-11,4	
0,15							9-15	4-13	4-10	6-13	5-11	2,5-9	
0,075	10-	8-13	6-10	2-9	6-10	4-	4-10	4-	3-	4-10	4-	3-	

Sumber: Spesifikasi, Bina Marga 201

1.5 Berat Jenis Agregat

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter petunjuk berat, yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar, atau berat yang ringan. Volume butir agregat, yang terdiri dari volume agregat masif (V_s), volume pori yang tidak dapat diresapi oleh air (V_i), volume air yang dapat diresapi oleh air (V_p+V_c) dan volume pori yang

yang dapat diresapi aspal (V_c). Terdapat jenis-jenis dari berat jenis (*specific gravity*), yaitu:

- a. Berat jenis *bulk*, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat ($V_s+V_i+V_p+V_c$).
- b. Berat jenis kering permukaan, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan jadi merupakan berat agregat kering + berat air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, dan seluruh volume agregat ($V_s + V_i + V_p+V_c$).
- c. Berat jenis semu, adalah berat jenis agregat dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, dan volume agregat yang tak dapat diresap oleh air (V_s+V_i).
- d. Berat jenis efektif, adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, jadi merupakan berat agregat kering dan volume agregat yang tak dapat diresapi aspal ($V_s+ V_i+V_p$).

Pengukuran volume agregat dalam proses penentuan berat jenis agregat dilakukan dengan mempergunakan hukum *Archimedes*, yaitu berat benda di dalam air akan berkurang sebanyak berat zat cair yang digunakan. Dengan mengasumsikan berat jenis dan berat volume air adalah selalu sama dengan satu, maka volume agregat sama dengan berat zat cair yang dipindahkan. Bahan pengisi (*filler*) berbutir agregat halus, sehingga sukar menentukan berat jenis kering permukaan, oleh karena itu pada umumnya dipergunakan berat jenis semua untuk bahan pengisi (*filler*). Jadi, tidak perlu ditentukan berat jenis bulknya (Sukirman, 2003).

1.6 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang padat sampai agak padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan

macam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras serta mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal. *Hydrokarbon* adalah suatu bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut juga dengan bitumen. Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi atau dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan. (Sukirman, 2003).

1.6.1. Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang didapat disuatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi:

1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam yang terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (Trinidad Lake Asphalt). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal.

2. Aspal Minyak

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

asphaltic base crude oil. Bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*) dan solar (minyak diesel) merupakan hasil destilasi pada temperature yang berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan atas aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi. (Sukirman, 2003).

a. Aspal Keras / Cement (AC)

Aspal semen pada temperatur ruang (25°-30° C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Prnglompokkan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu:

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40/50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.
3. AC pen 85-100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100.
4. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
5. AC pen 200//300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300.

Semen aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan semen aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. DiIndonesia pada umumnya dipergunakan semen aspal dengan penetrasi60/70 dan penetrasi 80/100. (Sukirman,1995).

a. Aspal Cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dariHasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian *cut back asphalt* berbentuk cair dalam temperatur ruang.Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas:

1. *Rapid curing cut back* (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.

2. *Medium curing cut back asphalt* (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*). *Slow curing cut back asphalt* (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). Aspal jenis ini merupakan *cut back asphalt* yang paling lama menguap. Berdasarkan nilai viskositas pada temperatur 60°, *cutback asphalt* dapat dibedakan atas:

Tabel 2.6. Tabel aspal cair

Rapid Curing	Medium Curing	Slow Curing
RC 30-60	MC 30-60	SC 30-60
RC 70-140	MC 70-140	SC 70-140
RC 250-500	MC 250-500	SC 250-500
RC 800-1600	MC 800-1600	SC 800-1600
RC 3000-6000	MC 3000-6000	SC 3000-6000

(Sumber: Sukirman, 1995)

Spesifikasi meliputi tiga mutu aspal cair RC – 70, RC – 250 dan RC – 800.

Syarat umum aspal cair adalah sebagai berikut :

- a. Aspal cair harus berasal dari hasil minyak bumi.
- b. Aspal harus mempunyai sifat sejenis, bebas air dan tidak berbusa jika dipanaskan.
- c. Jika dipakai menunjukkan pemisahan atau penggumpalan.
- d. Kadar paraffin dalam aspal tidak melebihi 2%.
- e. Aspal Emulsi

1.6.2. Fungsi Aspal Sebagai Materias Perkerasan Jalan

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.

2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Berarti aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

- a. Daya Tahan (durability)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Oven Test* (TFOT).

- b. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga akan dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal, sedangkan kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

- c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur. Kepekaan terhadap temperatur dari setiap hasil produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama.

- d. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadigetas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. (Sukirman, 2003).

1.6.3. Pemeriksaan Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur.

2.6.3.1 Pemeriksaan Yang Dilakukan Untuk Aspal Perkerasan

Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

a. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 06-2456-1991. Pemeriksaan dilakukan dengan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum + beban) selama 5 detik pada temperatur 25°. Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang merupakan kelipatan 0,1 mm (Sukirman, 1995).

b. Pemeriksaan Titik Lembek aspal

Temperatur pada saat dimana aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai penetrasi yang sama. Oleh karena itu temperatur tersebut dapat diperiksa dengan mengikuti prosedur SNI06-2434-1991. Pemeriksaan menggunakan cincin yang terbuat dari kuningan dan bola baja. Titik lembek ialah suatu suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserine yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat $\pm 3,5$ gram yang diletakkan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 25,4 mm (1 inch). Titik lembek aspal bervariasi antara 30°-200°C. 2 aspal yang mempunyai penetrasi yang sama belum tentu mempunyai titik lembek yang sama. Aspal dengan titik lembek yang lebih tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi perkerasan (Sukirman, 1995).

c. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pemeriksaan titik nyala untuk aspal keras mengikuti prosedur SNI 06–2433–1991, yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat di permukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Aspal disiapkan dalam cleveland open cup yang berbentuk cawan dari kuningan dan diletakkan pada alat pemanas. Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal hingga aspal tidak terbakar. Pemeriksaan harus dilakukan dalam ruang gelap sehingga dapat diketahui timbulnya nyala pertama (Sukirman 1995).

d. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur SNI 06–2432–1991. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur. Aspal dicetak pada cetakan dan penarikan dilakukan dengan alatnya. Umumnya pemeriksaan dilakukan pada suhu 25°C dengan kecepatan penarikan 5cm/menit. (Sukirman, 1995).

e. Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Aspal setebal 3 mm dipanaskan sampai 163° selama 5 jam di dalam oven yang dilengkapi dengan piring berdiameter 25 cm tergantung melalui poros vertikal dan dapat berputar dengan kecepatan 5-6 putaran / menit . Pemeriksaan mengikuti prosedur SNI 06- 2441-1991. Penurunan berat yang besar menunjukkan banyaknya bahan – bahan yang hilang karena penguapan, Aspal tersebut akan menjadi cepat mengeras dan menjadi rapuh. Pemeriksaan dapat dilanjutkan dengan menentukan penetrasi atau visikotas Aspal dari contoh aspal yang telah mengalami pemanasan (Sukirman, 1995).

f. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25° atau 15,6° C. Prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 06-2441-1991.

$$\text{Berat jenis aspal} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]}$$

Dimana :

A = Berat piknometer dengan penutup

B = Berat piknometer berisi air

C = Berat piknometer berisi aspal

D = Berat piknometer berisi aspal dan air

Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran (Sukirman, 1995).

Tabel 2.7. Ketentuan Spesifikasi Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Penetrasi perbandingan		Penetrasi yang digunakan		Penetrasi perbandingan		Satuan
		Pen 40/50 Min	Max	Pen 60/70 Min	Max	Pen 80/100 Min	Max	
1.	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 det.	40	50	60	70	80	99	0.1 mm
2.	Titik lembek (Ring and Ball)	51	63	48	58	46	54	°X
3.	Titik Nyala (Cleveland open cup)	232	-	232	-	232	-	°X
4.	Kehilangan Berat (Thick film Oven Test)	-	0.4	-	0.4	-	0.4	% berat
5.	Kelarutan dalam CCl ₄	99	-	99	-	99	-	% berat
6.	Daktilitas	100	-	100	-	100	-	Cm
7.	Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75	-	75	-	%
8.	Berat Jenis 25°C	1	-	1	-	1	-	

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Jalan).

1.6.4. Karakteristik Campuran

Menurut Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*) aspal beton campuran panas adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitas menjadi rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel, dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :

- a. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal.
- b. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

2. Durabilitas (Keawetan/Daya Tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahansuhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah:

- a. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (getas).

- b. VMA besar sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar, untuk mencapai VMA yang besar ini digunakan agregat bergradasi senjang.
- c. Film (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Fleksibilitas (Kelentura)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

4. Kekesatan (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan (basah) maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan. Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh:

- a. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar.
- b. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
- c. Penggunaan agregat kasar yang cukup

5. *Fatigue Resistance* (Ketahanan Kelelahan)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah:

- a. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.

b. VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

6. Kedap Air

Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

7. *Workability* (Kemudahan Pelaksanaan)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh gradasi agregat. Agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.

Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Dalam perancangan tebal perkerasan harus diperhatikan sifat-sifat aspal beton yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi (Leily, 2012).

1.7 Mix Design Formula

Campuran beton aspal panas adalah campuran antara agregat dan aspal dalam keadaan panas, dengan atau tanpa bahan tambahan. Campuran yang dibuat untuk lapisan aspal beton panas (LASTON). Agregat dan aspal memiliki karakteristik berbeda-beda, yang ditunjukkan oleh parameter seperti berat jenis, penyerapan agregat, gradasi, abrasi, penetrasi, daktilitas, viskositas dan lain sebagainya. Biasanya agregat diperoleh dari tempat yang terdekat dari lokasi yang menggunakannya. Kadangkala agregat yang dipergunakan merupakan campuran agregat yang diperoleh dari tempat yang berbeda dan instalasi pencampuran pun berbeda-beda sehingga tidak pernah ada satu resep campuran tunggal untuk menghasilkan campuran satu jenis beton aspal yang diinginkan. Oleh karena itu,

perencanaan dalam beton aspal sangat diperlukan untuk mendapatkan resep campuran dari material yang ada sehingga dihasilkan campuran sesuai spek yang ditetapkan. Salah satu aplikasi dari pemakaian beton aspal ialah dalam pembuatan jalan dan jembatan, oleh karena itu beton aspal harus memenuhi syarat dari pada Stabilitas, Flexibilitas, Karakteristik Marshall dan parameter lainnya.

1.8 Batu Piropilit

Piropilit adalah paduan dari alumunium silikat, yang mempunyai rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$. Mineral yang termasuk piropilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Bentuk kristal piropilit adalah monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk. Piropilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam dan Piropilit adalah salah satu dari bahan lokal yang masih relatif murah dan mudah didapat. Sebaran mineral piropilit di daerah Jawa Timur cukup luas, piropilit di daerah Malang Selatan, khususnya Kecamatan Sumbermanjing. Dilihat dari susunan kimia yang dimiliki piropilit, di dalam industri banyak digunakan sebagai *filler*. Piropilit sumber alam Sumbermanjing tersebut bersifat kristalin, terdiri dari 73,7% piropilit, 25,5 % kuarsa, dan 0,6 rutil, dengan susunan kimiawi sebagai berikut: SiO_2 (84,30%), Al_2O_3 (1,80%), MgO (1,26%), CaO (0,68%), K_2O (0,25%), Na_2O (0,64%), Fe_2O_3 (1,56 %). Untuk meningkatkan kemampuan dan kualitas piropilit alam Sumbermanjing sebagai adsorben anion, maka piropilit tersebut harus dibuat mempunyai situs positif yang lebih banyak (asam lewis), yang bisa dilakukan dengan perendaman dalam larutan asam dan dengan cara pemanasan/kalsinasi (Handoko, 2003).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.1. Operasional Penelitian

Di dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran (uji Marshall). Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*, kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal termasuk juga pengujian penetrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, kehilangan berat, daktilitas dan berat jenis. Sedangkan metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah metode *Marshall*, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen *Marshall*, yaitu stabilitas, *flow*, *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA), *void filled with asphalt* (VFA) dan kemudian dapat dihitung *Marshall Quotient*-nya.

1.2. Tempat Penelitian

Pelaksanaan pemeriksaan bahan dan pengujian stabilitas campuran aspal beton AC-WC dilaksanakan di Laboratorium Struktur Bahan jalan di INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL JL. Bendungan Sigura-gura No 2 Malang.

1.3. Rancangan Penelitian

Rencana penelitian menjadi dua bagian yaitu :

1. Studi pustaka, bertujuan mengkaji hubungan variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian.
2. Studi Eksperiment, dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dan di analisa secara statistik untuk menguji hipotesis sehingga dapat kesimpulan akhir.

1.4. Persiapan Bahan

Kegiatan pengujian sifat bahan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan uji, apakah bahan tersebut mempunyai karakteristik yang memenuhi spesifikasi untuk digunakan. Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Agregat kasar

Agregat kasar berupa batu pecah yang diambil dari Kali Welang PT. ETIKA dengan diameter butiran standar untuk lapis perkerasan jenis laston.

2. Agregat Halus

Agregat halus berupa batu Piropilit berukuran 0-5 mm diambil dari Malang Selatan kecamatan Sumbermanjing.

3. Bahan Pengisi atau filler

Bahan pengisi atau (*filler*) yang di gunakan adalah Abu Piropilit yang diambil dari Malang Selatan, kecamatan Sumbermanjing.

4. Aspal

Aspal yang di gunakan adalah produksi PT. Pertamina penetrasi 60/70

1.4.1. Persiapan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu Set Saringan (*Sieve*)

Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat.

2. Alat Uji Marshall

Alat uji marshall mesin uji ketahanan campuran atau aspal yang dilengkapi dial pembebanan, dengan kapasitas sampai dengan 2500 kg atau 5000 kg setelah sampel direndam sebelumnya selama 30 menit. Dimana campuran aspal *hot mix* memiliki ketahanan (stabilitas) yang berbeda terhadap kelelahan plastis (*flow*). Stabilitas (ketahanan) adalah kemampuan diri campuran dalam menahan beban hingga campuran aspal tersebut mengalami kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kg atau *pounds*. Dimana kelelahan plastis (*flow*) merupakan perubahan bentuk suatu

campuran aspal akibat pembebanan hingga batas runtuh yang dinyatakan dalam milimeter.

3. Alat uji pemeriksaan aspal

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain : alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).

4. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin abrasi Los Angeles (Tes abrasi), alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.

6. Alat karakteristik campuran agregat aspal :

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

- a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji flowmeter.
- b. Cetak benda uji bentuk silinder diameter 10,16 cm tinggi 6,35 cm.
- c. Marshall automatic compactor yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
- d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan
- e. Bak perendam (water bath) yang dilengkapi pengatur suhu

7. Alat Bantu

Alat-alat penunjang yang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, kaos tangan, kain lap, timbangan, jangka sorong, tip-ex digunakan untuk menandai benda uji.

1.5. Pengujian Sifat Bahan

Kegiatan pengujian sifat bahan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan uji, apakah bahan tersebut mempunyai karakteristik yang memenuhi spesifikasi untuk digunakan dalam campuran beton aspal.

1.5.1. Pengujian Sifat Bahan Aspal

Didalam pengujian ini jenis bahan aspal produksi pertamina dengan penetrasi 60/70, karena aspal dengan penetrasi 60/70 lebih umum digunakan dan mempunyai suhu yang cukup tinggi. Jenis pengujian dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.1 Persyaratan Aspal Keras Pen.60/70

Jenis Aspal (Sesuai Penetrasi)	Metode	Pen. 60/70
Penetrasi (25 ^o C, 100gr, 5det)	SNI06-2456-1991	60-79
TitikLembek; ^o C	SNI06-2434-1991	48-58
Titik Nyala; ^o C	SNI06-2433-1991	Min.200
Daktalitas (25 ^o C, 5cm/men, cm)	SNI06-2432-1991	Min.100
Berat Jenis	SNI06-2441-1991	Min.1,0
Kelarutan dalam TricloroEthylen;% Berat	SNI06-2438-1991	Min.99
Penurunan berat (denganTFOT);% Berat	SNI06-2440-1991	Max.0,8
Penetrasi setelah Penurunan berat,% Asli	SNI06-2456-1991	Min.54
Daktalitas setelah Penurunan berat,% asli	SNI06-2432 1991	Min.50

Sumber :Departemen Pekerjaan umum,(2007)

1.5.2. Pengujian Sifat Bahan Agregat

Bahan yang digunakan yang akan diuji berupa agregat kasar, agregat halus dan filler. Yang dimaksud dengan agregat kasar ialah bahan agregat yang tertahan diatas saringan N0.4 atau 4,76 (menurut SNI,1989) berupa batu pecah atau kerikil pecah. Sedangkan agregat halus adalah bahan agregat yang lolos saringan No.4 atau 4,76 mm (menurut SNI, 1989), berupa Batu Kapur (filler) yang akan diuji untuk bahan campuran beton aspal berupa abu batu yang lolos saringan No.200 atau 0,075 mm. Jenis dan metode pengujian yang akan dilakukan dari bahan agregat kasar, halus dan filler yang harus dipenuhi dalam penelitian ini diberikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jenis dan Metode Pengujian Agregat

No	Pengujian	Metode	Syarat
1. Agregat Kasar			
1	Penyerapan	SNI03-1969-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat Jenis Bulk	SNI03-1070-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat Jenis Semu	SNI03-1969-1990	-
4	Berat Jenis Efektif	SNI03-1969-1990	-
5	Keausan / <i>Los Angeles Abrasion Test</i>	SNI03-2417-1991	$\leq 40 \%$
6	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI03-2439-1991	$\geq 95\%$
7	Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %
2. Agregat Halus			
1	Penyerapan	SNI03-1970-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat Jenis Bulk	SNI03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Berat Jenis Semu	SNI03-1970-1990	-

4	Berat Jenis Efektif	SNI03-1970-1990	-
5	Sand Equivalent	SNI-03-4428- 1997	50%
3. Filler			
1	Berat Jenis	SNI15-2531-1991	≥ 1 gr/cc

1.6. Penyajian Data dan Analisis

Penyajian analisis data disajikan setelah semua proses penelitian berupa seluruh pengujian sifat bahan dan pengujian karakteristik *marshal* l campuran telah tercapai atau telah di selesaikan.

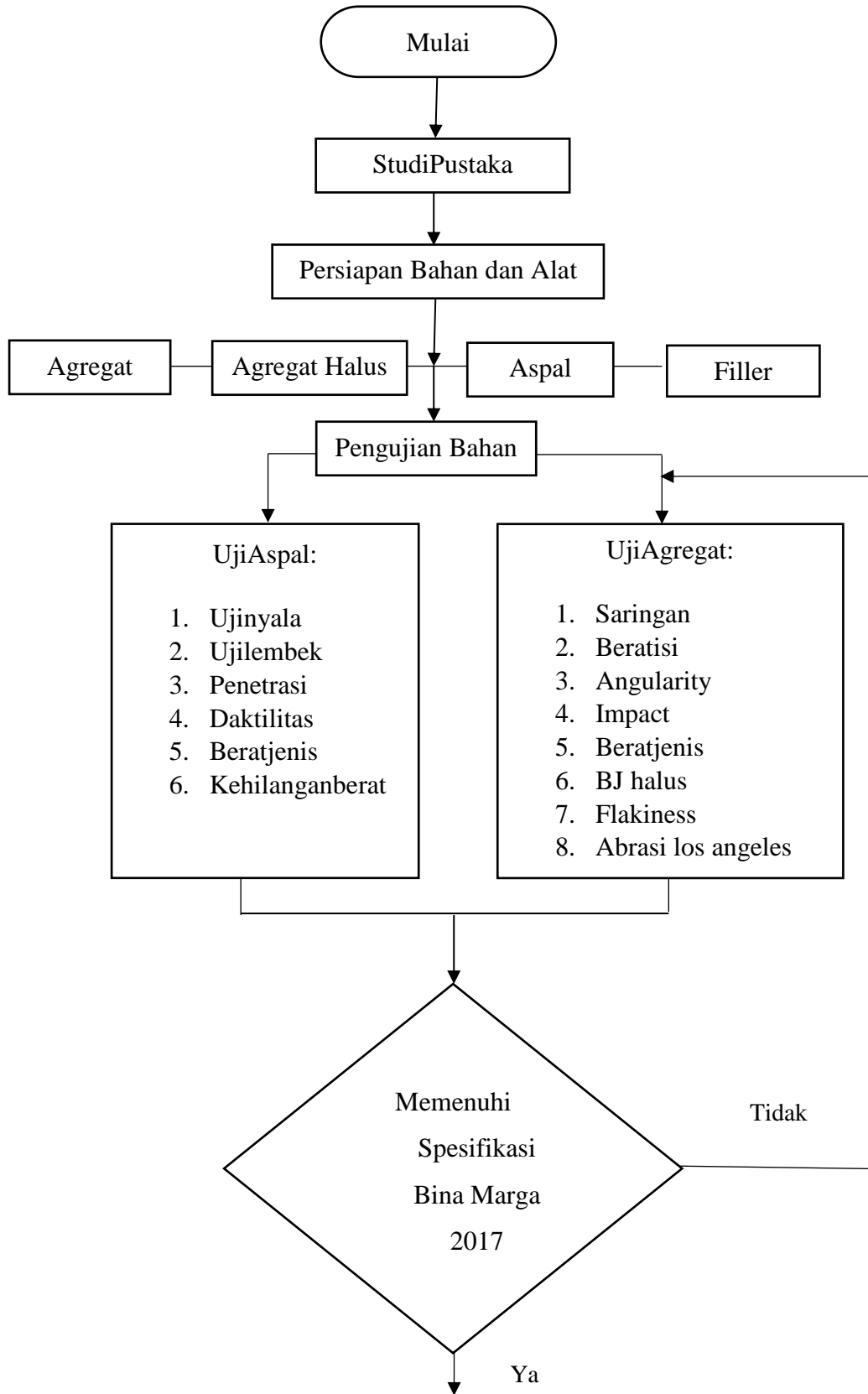
1.6.1. Penyajian Data

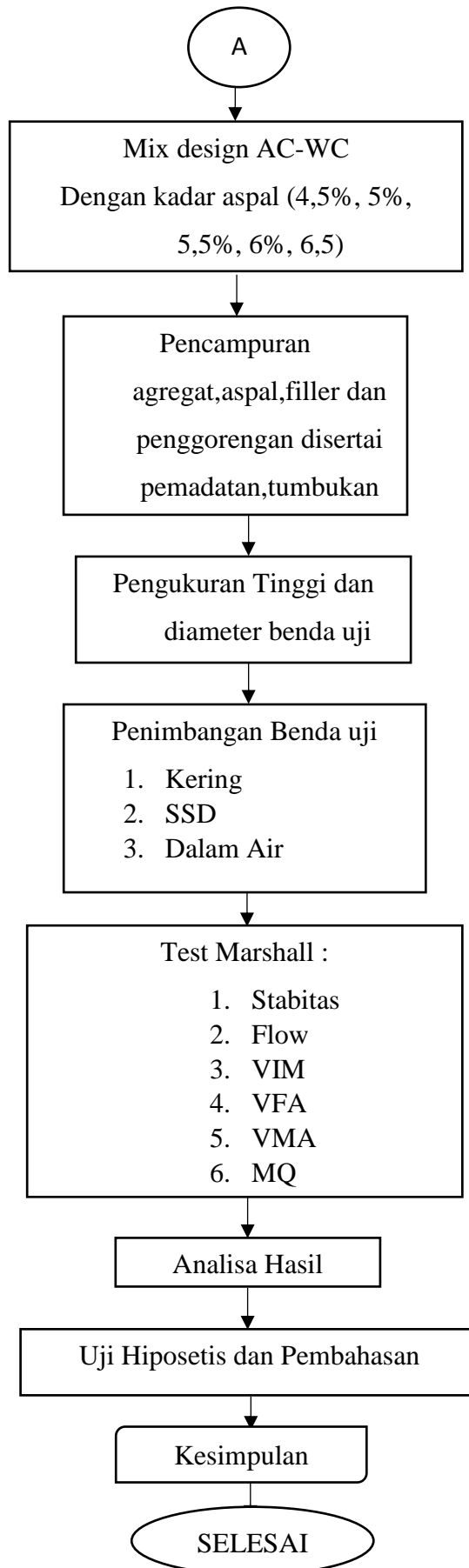
Penyajian data yang dimaksud adalah penyajian data sifat bahan dan Karakteristik campuran *Marshall* dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Pengujian ini dimaksudkan sebagai bahan di dalam menganalisis data dari Pengujian yang dimaksud, yaitu analisis penentuan karakteristik marshall.

1.6.2. Analisis Data

Pada tahap ini semua data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk menentukan karakteristik marshall.

1.7. Bagan Alir





BAB IV

DATA PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL

4.1 Pemeriksaan Mutu Bahan

Pada penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan berupa agregat Batu Pecah dan aspal adalah produk PT. MRS, Bululawang, Kab. Malang Agregat Kasar (*Course Aggregate*) ukuran 10/10 mm, Agregat Sedang (*Medium Aggregate*) dengan ukuran 5/10 mm, Agregat Halus (*Fine Aggregate*) dengan ukuran 0/5 mm dan Aspal dengan penetrasi 60/70, dan Agregat Halus dan filler Batu Piropilit dari Malang selatan kecamatan Sumbermanjing dan batu piropilit dipecah di crusher, dan batu piropilit tersebut disaring dengan perukuran 0-5 mm untuk agregat halus dan lolos saringan no200 untuk filler.

4.2 Pengujian Agregat

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

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Pengujian analisa saringan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi , Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur.

Dari hasil pengujian analisa saringan yaitu agregat halus, sedang dan halus dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.1. Analisa Saringan Agregat Kasar produksi AMP PT,MRS
Bululawang**

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			Tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	3132,7	3132,70	20,87	79,13
9,5 mm (3/8")	6190,7	9323,40	62,12	37,88
4,75 mm (No. 4)	5250,5	14573,90	97,10	2,90
2,36 mm (No. 8)	411,2	14985,10	99,83	0,17
2 mm (No. 10)	0,5	14985,60	99,84	0,16
1,18 mm (No. 16)	0,9	14986,50	99,84	0,16
0,71 mm (No. 25)	1,6	14988,10	99,85	0,15
0,6 mm (No. 30)	1,4	14989,50	99,86	0,14
0,425 mm (No. 40)	0,5	14990,00	99,87	0,13
0,28 mm (No. 50)	0,2	14990,20	99,87	0,13
0,15 mm (No. 100)	2,3	14992,50	99,88	0,12
0,075 mm (No. 200)	9,0	15001,50	99,94	0,06
p a n	8,4	15009,90	100,00	0,00
Total berat	15009,90			

**Tabel 4.2.. Analisa Saringan Agregat Sedang produksi AMP PT,MRS
Bululawang**

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5 mm (3/8")	3583,8	3583,80	35,67	64,33
4,75 mm (No. 4)	5156,1	8739,90	86,99	13,01
2,36 mm (No. 8)	1049,3	9789,20	97,44	2,56
2 mm (No. 10)	43,5	9832,70	97,87	2,13
1,18 mm (No. 16)	33,7	9866,40	98,21	1,79
0,71 mm (No. 25)	59,1	9925,50	98,80	1,20
0,6 mm (No. 30)	72,2	9997,70	99,51	0,49
0,425 mm (No. 40)	2,5	10000,20	99,54	0,46
0,28 mm (No. 50)	1,6	10001,80	99,56	0,44
0,15 mm (No. 100)	5,3	10007,10	99,61	0,39
0,075 mm (No. 200)	5,9	10013,00	99,67	0,33
p a n	33,5	10046,50	100,00	0,00
Total berat	10046,50			

**Tabel 4.3. Analisa Saringan Agregat Halus produksi AMP PT,MRS
Bululawang**

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5 mm (3/8")	0,0	0,00	0,00	100,00
4,75 mm (No. 4)	12,0	12,00	0,24	99,76
2,36 mm (No. 8)	828,3	840,30	16,71	83,29
2 mm (No. 10)	687,6	1527,90	30,39	69,61
1,18 mm (No. 16)	552,7	2080,60	41,38	58,62
0,71 mm (No. 25)	413,5	2494,10	49,60	50,40
0,6 mm (No. 30)	150,4	2644,50	52,59	47,41
0,425 mm (No. 40)	457,4	3101,90	61,69	38,31
0,28 mm (No. 50)	515,4	3617,30	71,94	28,06
0,15 mm (No. 100)	626,6	4243,90	84,40	15,60
0,075 mm (No. 200)	427,3	4671,20	92,90	7,10
p a n	357,2	5028,40	100,00	0,00
Total berat	5028,40			

Tabel 4.3. Analisa Saringan Agregat Halus dari batu Piropilit

Ukuran saringan	Berat tertahan (gram)	Kumulatif (gram)	Prosentase	
			tertahan	Lolos
25 mm (1")	0,0	0,00	0,00	100,00
19 mm (3/4")	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5 mm (1/2")	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5 mm (3/8")	31,5	31,50	0,62	99,38
4,75 mm (No. 4)	342,7	374,20	7,31	92,69
2,36 mm (No. 8)	1554,8	1929,00	37,71	62,29
2 mm (No. 10)	468,2	2397,20	46,86	53,14
1,18 mm (No. 16)	609,5	3006,70	58,77	41,23
0,71 mm (No. 25)	871,3	3878,00	75,81	24,19
0,6 mm (No. 30)	190,7	4068,70	79,53	20,47
0,425 mm (No. 40)	176,6	4245,30	82,99	17,01
0,28 mm (No. 50)	197,4	4442,70	86,84	13,16
0,15 mm (No. 100)	268,7	4711,40	92,10	7,90
0,075 mm (No. 200)	177,2	4888,60	95,56	4,44
p a n	227,1	5115,70	100,00	0,00
Total berat	5115,70			

Dari hasil pengujian analisa saringan yaitu agregat kasar, sedang dan halus didapatkan prosentase lolos yang selanjutnya akan digunakan dalam *mix design* untuk mencari komposisi campuran.

4.2.2 Pengujian Berat Isi Agregat (AASHTO T-19-80) (ASTM C-29-71)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat halus, agregat kasar atau campuran. Berat isi adalah perbandingan antara berat dan isi. Pengujian berat isi agregat ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigurgura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian berat isi agregat dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Uraian	berat (gram)			
	I			
Berat silinder kosong	W1	7880		
Berat silinder + air penuh	W2	17880		
Berat air	$C = W2 - W1$	10000		
Agregat lepas				
Berat silinder + agregat	W3	21750	21410	21710
Berat agregat	$W4 = W3 - W1$	13870	13530	13830
Agregat padat dengan tusukan				
Berat silinder + agregat	W5	23350	23400	23130
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	15470	15520	15250
Agregat padat dengan goyangan				
Berat silinder + agregat 3	W7	23440	23380	23660
Berat agregat 3	$W8 = W7 - W1$	15560	15500	15780
Berat isi agregat	$\frac{W_{4,6,8}}{V}$	$W_{4,6,8}$ = Berat agregat dalam silinder V = volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder		
Berat isi agregat lepas		1,39	1,35	1,38
Berat isi agregat padat dengan tusukan		1,55	1,55	1,53
Berat isi agregat padat dengan goyangan		1,56	1,55	1,58
Catatan :				
Rata-rata berat isi		= 1,49 gr/cm ³		

Hasil Pengujian :

$$\text{Berat isi} = \frac{W_{4,6,8}(\text{kg/cm}^3)}{V}$$

Dimana :

V = Volume agregat dalam silinder = volume air dalam silinder (cm^3)

W₄ = Berat benda uji (kg)

Perhitungan :

$$W_1 \text{ (berat silinder kosong)} = 7880 \text{ gram}$$

$$W_2 \text{ (berat silinder + air penuh)} = 17880 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air : C} &= W_2 - W_1 \\ &= 17880 - 7880 \\ &= 10000 \text{ gram} \end{aligned}$$

• Agregat Lepas :

$$W_3 \text{ (berat silinder + agregat)} = 21750 \text{ gram}$$

$$W_4 = (W_3 - W_1) = 13870 \text{ gram}$$

• Agregat Padat dengan tusukan :

$$W_5 \text{ (berat silinder + agregat)} = 23350 \text{ gram}$$

$$W_6 (W_5 - W_1) = 15470 \text{ gram}$$

• Agregat Padat dengan goyangan :

$$W_7 \text{ (berat silinder + agregat)} = 23440 \text{ gram}$$

$$W_8 (W_7 - W_1) = 15560 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Maka berat isi lepas} &= W_4 / C \\ &= 13870 / 10000 \\ &= 1,39 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat isi tusukan} &= W_6 / C \\ &= 15470 / 10000 \\ &= 1,55 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

- Berat isi goyangan $= W8 / C$
 $= 15560 / 10000$
 $= 1,56 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$

Dari pengujian berat isi didapat nilai terbesar pada saat pengujian agregat padat dengan goyangan yaitu sebesar $1,56 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$.

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

Angka angularitas ditentukan dari proporsi rongga dalam sebuah sampel agregat sesudah kompaksi. Angularitas atau adanya bagian-bagian yang bersudut pada partikel pada suatu agregat merupakan bagian yang penting karena hal ini mempengaruhi kemudahan saling mengunci (*interlocking*) antar partikel. Pengujian ini bertujuan untuk menyeragamkan cara memperoleh angka angularitas agregat kasar yang masih dapat digunakan (sebagai bahan perkerasan pada jalan raya).

Pengujian angka angularitas ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian angka angularitas dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Angka Angularitas (*Angularity Number*)

Uraian		Berat (gram)
Berat silinder kosong	W1	3560
Berat silinder + air penuh	W2	6560
Berat air	$C = W2 - W1$	3000
Percobaan I		
Berat silinder + agregat	W3	8490
Berat agregat	$W4 = W3 - W1$	4930
Percobaan II		
Berat silinder + agregat 2	W5	8500
Berat agregat 2	$W6 = W5 - W1$	4940
Percobaan III		
Berat silinder + agregat 3	W7	8540

$\text{Angka Angularitas} = 67 - \frac{100 M}{C Ga} = 3,79$
<p>Dimana :</p> <ul style="list-style-type: none"> M = Berat agregat dalam silinder rata-rata = $(W4 + W6 + W8) / 3$ C = Berat air diisi penuh dalam silinder Ga = Berat jenis (Specific Gravity) dari agregat (Angularity number berkisar 0-12)

Hasil Pengujian :

$$\text{Angka angularitas} = 67 - \frac{100 M}{C.Ga}$$

Dimana :

M = Berat agregat dalam silinder rata-rata

C = Berat air diisi penuh dalam silinder (g)

Ga = Berat jenis (*specific gravity*) dari agregat

Maka diperoleh perhitungan sebagai berikut :

$$W1 \text{ (berat silinder kosong)} = 3560 \text{ gram}$$

$$W2 \text{ (berat silinder + air kosong)} = 6560 \text{ gram}$$

- Berat Air : C

$$= W2 - W1$$

$$= 6560 - 3560$$

$$= 3000 \text{ gram}$$

- Percobaan I

$$W3 \text{ (berat silinder + agregat)} = 8490 \text{ gram}$$

$$W4 \text{ (berat agregat)} = W3 - W1$$

$$= 8490 - 3560$$

$$= 4930 \text{ gram}$$

- Percobaan II

$$\begin{aligned} W5 \text{ (berat silinder + agregat)} &= 8500 \text{ gram} \\ W6 \text{ (berat agregat)} &= W5 - W1 \\ &= 8500 - 3560 \\ &= 4940 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Percobaan III

$$\begin{aligned} W7 \text{ (berat silinder + agregat)} &= 8540 \text{ gram} \\ W8 \text{ (berat agregat)} &= W7 - W1 \\ &= 8540 - 3560 \\ &= 4980 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Angka Angularitas $= 67 - \frac{100 M}{C.Ga}$

$$= \frac{100 (4930+4940+4980)/3}{3000 \times 2.61} = 67 - 3,79$$

Dari pengujian angka angularitas didapat nilai sebesar 3,79 maka agregat tersebut dapat digunakan. Dimana angka angularitas yang disarankan berkisar antara 0 -12. Semakin besar nilai angka angularitas maka pencampuran lebih sulit dilakukan. Disisi lain hal tersebut, memberikan nilai stabilitas yang tinggi karena agregat saling mengunci.

4.2.4 Indeks Kepipihan (*Flakiness Index*) (BS 812 : Part 1 : 1975)

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

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

Pengujian indeks kepipihan (*Flakiness Index*) ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional

Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian indeks kepipihan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Flakiness Index*

Analisa saringan		Berat kering oven = 3500 gr
Saringan (mm)	Berat tertahan (gram)	Prosentase tertahan (%)
63		
50		
37,5		
28		
20		
10	1799,8	51%
7	755,7	21.6%
4	363,4	10%
Berat benda uji	M1	3500 gr
Total berat tertahan di atas 5 %	M2	2918,9 gr
Total berat lolos pada tes <i>flakiness</i> M2	M3 F	581,1 gr
Flakiness Indeks	$\frac{M3F \times 100}{M2}$	19,908 %
Catatan : <i>Flakiness Index</i> = 19,908 (Maksimum 25%)		

Hasil Pengujian :

- Indeks Kepipihan (%) = $\frac{M3 \times 100}{M2}$

Dimana :

M2 = jumlah fraksi yang mempunyai prosentase berat lebih besar dari 5 % terhadap berat total.

M3 = jumlah berat partikel agregat yang lolos pada alat kepipihan.

Dari hasil pengujian diperoleh data-data sebagai berikut :

M1 = 3500 gram

M2 = 2918,9 gram

M3 = 581,1 gram

- Indeks Kepipihan (%)
$$= \frac{M3 \times 100}{M2}$$

$$= \frac{581,1 \times 100}{2918,9}$$

$$= 19,908 \%$$

Dari hasil pengujian flakiness indeks diperoleh nilai sebesar 19,908 %, maka dengan demikian agregat yang di uji tersebut dapat digunakan karena tidak melebihi syarat batas maksimum 25%.

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

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur kekuatan relatif agregat terhadap beban kejut (impact) yang dinyatakan dengan *Aggregate Impact Value* (AIV). Pengujian kekuatan agregat terhadap tumbukan (*Aggregate Impact Value*) ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian kekuatan agregat terhadap tumbukan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.7. Hasil Pengujian *Aggregate Impact Value*

		I	II
(A)	Berat benda uji gram	500,00	500,00
(B)	Berat benda uji setelah tes dan lewat saringan # 2,36 mm BS gram	47,00	41,60
(C)	Berat benda uji setelah tes dan tertahan saringan # 2,36 mm BS gram	452,60	458,80
	<i>Aggregate Impact Value</i> (AIV) (%)	9,40	8,32
	Rata-rata <i>Aggregate Impact Value</i> (%)	8,86	
Catatan : Rata-rata <i>Aggregate Impact Value</i> = 8,86 % (Maksimum 30%)			

Hasil Pengujian :

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

Dimana :

AIV = *Aggregate Impact Value* (%)

A = Berat awal benda uji

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

AIV ditentukan berdasarkan harga rata-rata dari dua pengukuran.

- Pada sample I :

A = 500,00 gram

B = 47,00 gram

$$\text{Maka AIV} : \frac{47,00}{500,00} \times 100 \% = 9,40 \%$$

- Pada sample II :

A = 500,00 gram

B = 41,60 gram

$$\text{Maka AIV} : \frac{41,60}{500,00} \times 100 \% = 8,32 \%$$

$$\text{Maka nilai rata-rata} = \frac{9,40+8,32}{2} = 8,86 \%$$

Dari hasil perhitungan rata-rata didapat nilai aggregate impact value (AIV) sebesar 8,86% , dimana syarat maksimum adalah 30 % , sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat ini dapat digunakan sebagai bahan campuran.

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

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

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	496,00	497,30	496,50
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	500,00	500,00	500,00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	665,20	661,50	663,35
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	B _t	982,20	977,60	979,90
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2,71	2,70	2,71
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,73	2,72	2,73
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,71	2,70	2,71
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	0,81%	0,60%	0,71%

Hasil Pengujian :

- a. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{Bk}{(B+Bj-Bt)}$
- b. Berat jenis kering permukaan (ssd) $= \frac{Bk}{(B+Bj-Bt)}$
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) $= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$
- d. Penyerapan $= \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

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

Bj = berat contoh kering permukaan jenuh (gr)

- Pengujian sampel I

Percobaan I : Bk = 496,00

Bj = 500,00

B = 665,20

Bt = 982,20

Maka perhitungan :

Berat jenis (bulk) $= \frac{496,00}{(665,20+500,00-982,20)} = 2,71$

Berat jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500,00}{(665,20+500,00-982,20)} = 2,73$

Berat jenis semu $= \frac{496,00}{(665,20+496,00-982,20)} =$
2,71

Penyerapan $= \frac{500,00-496,00}{496,00} \times 100\% =$
0,81 %

- Pengujian sampel II

Percobaan II : Bk = 497,00

Bj = 500,00

B = 661,50

$$B_t = 977,60$$

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{497,00}{(661,50+500,00-977,60)} = 2,70$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500,00}{(661,50+500,00-977,60)} = 2,72$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{497,00}{(661,50+497,00-977,60)} = 2,70$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{500,00-497,00}{497,00} \times 100\% = 0,60\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai rata-rata sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = 2,71$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = 2,73$$

$$\text{Berat jenis semu} = 2,71$$

$$\text{Penyerapan} = 0,71$$

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus batu piropilit

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	489,80	488,70	489,25
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	500,00	500,00	500,00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	665,20	661,50	663,35
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	B _t	973,10	968,70	970,90
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2,55	2,53	2,54
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,60	2,59	2,60
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,55	2,53	2,54

Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,08%	2,31%	2,20%

Hasil Pengujian batu piropilit :

- a. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{B_k}{(B+B_j-B_t)}$
- b. Berat jenis kering permukaan (ssd) $= \frac{B_k}{(B+B_j-B_t)}$
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) $= \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)}$
- d. Penyerapan $= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$

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 contoh kering permukaan jenuh (gr)

• Pengujian sampel I

Percobaan I : B_k = 489,80

B_j = 500,00

B = 665,20

B_t = 973,10

Maka perhitungan :

Berat jenis (bulk) $= \frac{489,80}{(665,20+500,00-973,10)} = 2,55$

Berat jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500,00}{(665,20+500,00-973,10)} = 2,60$

Berat jenis semu $= \frac{489,80}{(665,20+489,80-973,10)} = 2,69$

Penyerapan $= \frac{500,00-489,80}{489,80} \times 100\% = 2,08\%$

2,08 %

- Pengujian sampel II

Percobaan II	: Bk	= 488,70
	Bj	= 500,00
	B	= 661,50
	Bt	= 968,70

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{488,70}{(661,50+500,00-968,70)} = 2,53$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500,00}{(661,50+500,00-968,70)} = 2,59$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{488,70}{(661,50+488,70-968,70)} = 2,69$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{500,00-488,70}{488,70} \times 100\% = 2,31\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai rata-rata sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = 2,54$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = 2,60$$

$$\text{Berat jenis semu} = 2,69$$

$$\text{Penyerapan} = 2,20$$

Dari hasil pengujian sampel berat jenis dan penyerapan agregat halus didapat nilai berat jenis sebesar 2,54 % dan penyerapan 2,20 %. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis >2,5 dan penyerapan < 3.

4.2.7 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang (AASHTO T-85-81)

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

- Berat jenis (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

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

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.10. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	2924,1	2926,4	2925,25
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	3000	3000	3000
Berat contoh di dalam air	B _a	1854	1858,3	1856,15
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,55	2,56	2,56
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,62	2,63	2,62
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,73	2,74	2,74
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \%$	2,60%	2,52%	2,56%

Hasil Pengujian :

- a. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_j - B_a)}$
- b. Berat jenis kering permukaan (ssd) $= \frac{B_j}{(B_j - B_a)}$
- c. Berat jenis semu (apparent specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_k - B_a)}$
- d. Penyerapan $= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$

Dimana :

B_k = berat benda uji kering oven (gr)

B_a = berat piknometer berisi air (gr)

B_j = berat contoh kering permukaan jenuh (gr)

- Pengujian sampel I

Percobaan I : $B_k = 2924,1$

$B_j = 3000$

$B_a = 1854$

Maka perhitungan :

Berat jenis (bulk) $= \frac{2924,1}{(3000 - 1854)} = 2,55$

Berat jenis kering permukaan jenuh $= \frac{3000}{(3000 - 1854)} = 2,62$

Berat jenis semu $= \frac{2924,1}{(4880,8 - 1854)} = 2,73$

Penyerapan $= \frac{3000 - 2924,1}{2924,1} \times 100\% = 2,60\%$

- Pengujian sampel II

Percobaan II : $B_k = 2924,1$

$B_j = 3000$

$B_a = 1854$

Maka perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (bulk)} &= \frac{2924,1}{(3000-1854)} = 2,56 \\ \text{Berat jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{3000}{(3000-1854)} = 2,63 \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{2924,1}{(4883,5-1854)} = 2,74 \\ \text{Penyerapan} &= \frac{3000-2924,1}{2924,1} \times 100\% = 2,52\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai rata-rata sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (bulk)} &= 2,56 \\ \text{Berat jenis kering permukaan jenuh} &= 2,62 \\ \text{Berat jenis semu} &= 2,74 \\ \text{Penyerapan} &= 2,56 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian sampel berat jenis dan penyerapan agregat kasar didapat nilai berat jenis sebesar 2,56 dan penyerapan 2,56 %. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis $>2,5$ dan penyerapan < 3 .

4.2.8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (AASHTO T-85-81)

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

- e. 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.
- f. 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.
- g. 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.
- h. Penyerapan ialah prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.11. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	4880,8	4883,5	4882,15
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	5000	5000	5000
Berat contoh di dalam air	B _a	3128	3131,2	3129,6
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,61	2,61	2,61
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,67	2,68	2,67
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,78	2,79	2,79
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,44%	2,39%	2,41%

Hasil Pengujian :

- e. Berat jenis (bulk specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_j - B_a)}$
- f. Berat jenis kering permukaan (ssd) $= \frac{B_j}{(B_j - B_a)}$
- g. Berat jenis semu (apparent specific gravity) $= \frac{B_k}{(B_k - B_a)}$
- h. Penyerapan $= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gr)

Ba = berat piknometer berisi air (gr)

Bj = berat contoh kering permukaan jenuh (gr)

- Pengujian sampel I

Percobaan I : Bk = 4880,8

Bj = 5000

Ba = 3128

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{4880,8}{(5000-3128)} = 2,61$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{5000}{(5000-3128)} = 2,67$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{4880,8}{(4880,8-3128)} = 2,78$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{5000-4880,8}{4880,8} \times 100\% = 2,44 \%$$

- Pengujian sampel II

Percobaan II : Bk = 4883,5

Bj = 5000

Ba = 3131,2

Maka perhitungan :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = \frac{4883,5}{(5000-3131,2)} = 2,61$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{5000}{(5000-3131,2)} = 2,68$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{4883,5}{(4883,5-3131,2)} = 2,79$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{5000-4883,5}{4883,5} \times 100\% = 2,39 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai rata-rata sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (bulk)} = 2,61$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = 2,67$$

Berat jenis semu	= 2,79
Penyerapan	= 2,41

Dari hasil pengujian sampel berat jenis dan penyerapan agregat kasar didapat nilai berat jenis sebesar 2,61 % dan penyerapan 2,41 %. Maka dari pengujian tersebut masih memenuhi syarat untuk berat jenis >2,5 dan penyerapan < 3.

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

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. Pengujian agregat dengan menggunakan alat Los Angeles ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian agregat dengan menggunakan alat Los Angeles dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.12. Hasil Pengujian Keausan Agregat Menggunakan Alat Los Angeles

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 20 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	Tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")				
63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")				
50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")				
37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")				
25,4 mm (1")	19 mm (3/4")				
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")				
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500			
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	2500			
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No.4)				

4,75 mm (No.4)	2,38 mm (No.8)			
Jumlah berat		5000		
Berat tertahan saringan no 12			4089	
		I	II	
A	Berat benda uji semula	5000		Gram
B	Berat benda uji tertahan s/d saringan No.12	4089		Gram
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100\%$	18,22		%
Catatan : Keausan = 18,22 % < 40 %				

Hasil Pengujian :

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

Dimana :

a = berat benda uji semula (gram)

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

keausan dilaporkan sebagai bilangan bulat dalam persen.

- Nilai keausan Los Angeles = $(5000 - 4089) / 5000 \times 100\%$
= 18,22 %

Dari hasil pengujian keausan didapatkan nilai sebesar 18,22%, dengan demikian memenuhi syarat ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena kurang dari < 40%, jika lebih dari 40% maka agregat tersebut tidak dapat digunakan.

4.3 Hasil Pengujian Aspal

4.3.1 Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen

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. Pengujian penetrasi ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil,

Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian penetrasi dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 0 WIB	140 °C
	Selesai jam: 09.50 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	25 °C
	Selesai jam: 12.30 WIB	
Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C	Pembacaan suhu termometer
	Mulai jam : 12.30 WIB	25 °C
	Selesai jam: 13.30 WIB	

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

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	70	71	72	73	76
Benda uji II	69	70	74	76	77
Rata-rata	72,80				
Catatan : Rata-rata penetrasi = 77,00 (10 ⁻¹ mm)					

Hasil Pengujian

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

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat

Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 17.00 WIB	25 °C
	Selesai jam: 18.30 WIB	
Pemeriksaan	Penetrasi pada suhu 25°C	Pembacaan suhu termometer
	Mulai jam : : 18.30 WIB	25 °C
	Selesai jam: 0 WIB	

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

Pengamatan	1	2	3	4	5
Benda uji I	62	63	65	65	67
Benda uji II	63	64	66	66	67
Rata-rata	64,80				

Catatan :

Rata-rata penetrasi setelah kehilangan berat = 64,8 (10⁻¹ mm)
(89,01% dari penetrasi sebelum kehilangan berat. Syarat : Minimum 75%)

1. Hasil pengujian penetrasi aspal sebelum kehilangan berat nilai rata-rata adalah 77,00.
2. Hasil pengujian penetrasi aspal setelah kehilangan berat nilai rata-rata adalah 64,8.
3. Dari kedua pengujian penetrasi tersebut, kemudian didapatkan nilai persentasenya diantaranya adalah sebagai berikut :

$\frac{64,80}{77,00} \times 100\% = 89,01\%$. Sehingga persyaratan sesudah kehilangan berat minimal 75% dan sebelum kehilangan berat minimal 79%, dengan demikian hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan.

4.3.2 Titik Nyala dan Titik Bakar (AASHTO T 48-81) (ASTM D-92-52)

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 140°C. Pengujian titik nyala dan titik bakar ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian titik nyala dan titik bakar dapat dilihat pada tabel berikut ini

4.15. Hasil Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan		Pembacaan suhu aspal	
	Mulai jam	: 08.50 WIB	140 °C	
	Selesai jam	: 09.50 WIB		
Menuang contoh	Penuangan contoh		Pembacaan suhu menuang	
	Mulai jam	: 09.50 WIB	140 °C	
	Selesai jam	: 10.00 WIB		
Kenaikan contoh suhu	Sampai 56°C di bawah titik nyala			
	Mulai jam	: 11.00 WIB	15°C per menit	
	Selesai jam	: 11.30 WIB		
	antara 56 s/d 28°C di bawah titik nyala			
	Mulai jam	: 11.30 WIB	5°C s/d 6°C per menit	
	Selesai jam	: 11.43 WIB		
			Titik nyala perkiraan = 320 °C	
°C di bawah titik nyala	Waktu	°C	Titik Nyala	
56	11.30 WIB	260		
51	11.36 WIB	265		
46	11.37 WIB	270		
41	11.38 WIB	275		
36	11.41 WIB	280		
31	11.43 WIB	285		
26	11.43 WIB	290	290 NYALA	
Titik nyala = 290 °C, Titik bakar = 295 °C				

Hasil Pengujian :

Dari pengujian titik nyala dan titik bakar didapat hasil rata-rata pengujian (duplo) sebagai berikut :

11.43” , (290) Titik Nyala

11.44” , (195) Titik Bakar

Dari hasil pengujian, titik nyala didapatkan sebesar 290⁰C yaitu pada saat kondisi alat penguji menyala dan titik bakar 295⁰C, maka titik nyala tersebut telah memenuhi persyaratan aspal keras dengan penetrasi 60/70 yaitu minimal 232⁰C.

4.3.3 Titik Lembek Aspal dan Ter (AASHTO T-53-89)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30⁰C sampai 200⁰C. Pengujian titik lembek aspal dan ter ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian titik lembek aspal dan ter dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Sebelum Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	
	Mulai jam : 16.00 WIB	
	Selesai jam : 17.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5 ⁰ C	Pembacaan suhu es
	Mulai jam : 17.00 WIB	0 °C
	Selesai jam : 18.30 WIB	
Pemeriksaan titik lembek	Mulai jam : 18.30 WIB	
	Selesai jam : 18.56 WIB	

Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		18.30	18.30		
5		18.35	18.35		
10		18.39	18.39		
15		18.42	18.42		
20		18.44	18.44		
25		18.46	18.46		
30		18.47	18.47		
35		18.48	18.48		
40		18.51	18.51		
45		18.53	18.53		
50		18.55	18.55	18,56 (51° C)	18,57 (52° C)
Catatan : Titik lembek setelah kehilangan berat = 51,5 °C dalam 26 menit pemeriksaan					

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter Setelah Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang				
	Mulai jam : 16.00 WIB				
	Selesai jam : 17.00 WIB				
Mencapai suhu pemeriksaan	Didiamkan pada suhu 5°C				Pembacaan suhu es 0 °C
	Mulai jam : 17.00 WIB				
	Selesai jam : 18.30 WIB				
Pemeriksaan titik lembek	Mulai jam : 18.30 WIB				
	Selesai jam : 18.56 WIB				
Suhu yang diamati		Waktu		Titik lembek °C	
°C	°F	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji I	Benda Uji II
0		18.30	18.30		
5		18.35	18.35		
10		18.39	18.39		
15		18.42	18.42		
20		18.44	18.44		
25		18.46	18.46		
30		18.47	18.47		
35		18.48	18.48		
40		18.51	18.51		
45		18.53	18.53		

50		18.55	18.55	18,56(51°C)	18,57(52°C)
Catatan : Titik lembek setelah kehilangan berat = 51,5 °C dalam 26 menit pemeriksaan					

Hasil Pengujian :

Suhu pada saat setiap bola baja menyentuh pelat dasar dilaporkan, suhu titik lembek bahan bersangkutan dari hasil pengamatan rata-rata dilaporkan dan dibulatkan sampai 0,5⁰C terdekat untuk tiap percobaan ganda (duplo).

Dari hasil pengamatan titik lembek sebelum kehilangan berat adalah 53⁰C sedangkan pada pengujian titik lembek setelah kehilangan berat adalah 51,5⁰C. hasil tersebut telah memenuhi persyaratan Dpkimpraswil 2002 untuk titik lembek aspal yang ditentukan yaitu minimum 48⁰C dan maksimum 58⁰C. Dengan demikian, maka aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran.

4.3.4 Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter (AASHTO T-226-79)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dan ter dengan piknometer. Pengujian berat jenis bitumen keras dan ter ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian berat jenis bitumen keras dan ter dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB Selesai jam : 09.50 WIB	140 °C
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB Selesai jam : 11.00 WIB	27 °C
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	25 °C

	Selesai jam	: 12.30 WIB	
Pemeriksaan Berat Jenis	Mulai jam	: 12.30 WIB	Pembacaan suhu water bath
	Selesai jam	: 12.40 WIB	25°C
Berat piknometer + air	65,8		65,9
Berat piknometer	28,7		28,5
Berat air (= isi piknometer)	37,1		37,4
Berat piknometer + contoh	51,5		52
Berat piknometer	28,7		28,5
Berat contoh	22,8		23,5
Berat pikno + air + contoh	66,5		66,3
Berat piknometer + contoh	51,5		52
Berat air	15		14,3
Isi bitumen	22,1		23,1
Catatan : Berat jenis = 1,024			

Hasil Pengujian :

Rumus berat jenis :

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

dimana :

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

- Perhitungan Sampel I:

Berat piknometer + air = 65,8

Berat piknometer = 28,7

Berat air (isi piknometer) = 65,8 - 28,7
= 37,1 gr

Berat piknometer + contoh = 51,5

Berat piknometer = 28,7

Berat contoh = 51,5 - 28,7
= 22,8 gr

$$\begin{aligned}
\text{Berat pikno + air + contoh} &= 66,5 \\
\text{Berat pikno + contoh} &= 51,5 \\
\text{Berat air} &= 66,5 - 51,5 \\
&= 15 \text{ gr} \\
\text{Isi bitumen} &= \text{berat air (isi piknometer)} - \text{berat air} \\
&= 37,1 - 15 \\
&= 22,1 \text{ gr} \\
\text{Berat jenis} &= \frac{\text{berat contoh}}{\text{berat air isi bitumen}} \\
&= \frac{22,8}{22,1} \\
&= 1,03
\end{aligned}$$

- Perhitungan Sampel II :

$$\begin{aligned}
\text{Berat piknometer + air} &= 65,9 \\
\text{Berat piknometer} &= 28,5 \\
\text{Berat air (isi piknometer)} &= 65,9 - 28,5 \\
&= 37,4 \text{ gr} \\
\text{Berat piknometer + contoh} &= 52 \\
\text{Berat piknometer} &= 28,5 \\
\text{Berat contoh} &= 52 - 28,5 \\
&= 23,5 \text{ gr} \\
\text{Berat pikno + air + contoh} &= 66,3 \\
\text{Berat pikno + contoh} &= 52 \\
\text{Berat air} &= 66,3 - 52 \\
&= 14,3 \text{ gr} \\
\text{Isi bitumen} &= \text{berat air (isi piknometer)} - \text{berat air} \\
&= 37,4 - 14,3 \\
&= 23,1 \text{ gr} \\
\text{Berat jenis} &= \frac{\text{berat contoh}}{\text{berat air isi bitumen}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{23,5}{23,1} \\
&= 1,02 \\
\text{Berat jenis rata-rata} &= \frac{1,03+1,02}{2} \\
&= 1,024
\end{aligned}$$

Dari hasil pengujian berat jenis aspal keras penetrasi 60/70 pada sampel I sebesar 1,03 dan sampel II sebesar 1,02. Dari kedua sampel, diambil berat jenis rata-rata sebesar 1,024. Dari kedua sampel tersebut telah memenuhi persyaratan Depkimpraswil 2002 untuk pengujian berat jenis aspal yang nilai minimum sebesar adalah 1.

4.3.5 Kehilangan Berat Minyak Dan Aspal (AASHTO T-47-82)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menetapkan penurunan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu. Pengujian kehilangan berat minyak dan aspal ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigurgura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian kehilangan berat minyak dan aspal dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB	150 °C
	Selesai jam : 09.50 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam : 11.00 WIB	

Pemeriksaan kehilangan berat pada 163°C	Mulai jam : 17.00 WIB		Pembacaan suhu dlm contoh	
	Selesai jam : 17.10 WIB		163 °C	
	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Sampe 1 IV
Berat cawan + aspal keras	74,6	72,7	74,7	
Berat cawan kosong	13,1	13,1	13,1	
Berat aspal keras	61,5	59,6	61,6	
Berat sebelum pemanasan	74,6	72,7	74,7	
Berat sesudah pemanasan	74,5	72,5	74,6	
Kehilangan berat	0,1	0,2	0,1	
Kehilangan berat dlm %	0,134	0,275	0,134	
Rata-rata (%)	0,181			
Catatan : Kehilangan berat rata-rata = 0,181 %				

Hasil Pengujian :

Rumus Penurunan Berat :

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

Dimana :

A = Berat cawan + contoh sebelum diuji (gram)

B = Berat cawan + contoh setelah diuji (gram)

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

- Pada sampel I :

A = 74,6

B = 72,7

$$\text{Penurunan berat} = \frac{74,6 - 72,7}{74,6} \times 100\% = 2,55\%$$

Dengan cara rata-rata didapatkan hasil pengujian pada sampel I,II dan III adalah 0,181 %

$$\text{Rata-rata} = \frac{(0,134+0,275+0,134)}{3} \times 100\% = 0,181\%$$

Dari hasil pengujian penurunan berat minyak dan aspal sebesar 0,181%, maka aspal 60/70 tersebut memenuhi persyaratan Depkimprawil 2002 maksimum adalah 0,4%.

4.3.6 Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen

Maksud dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara kedua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pengujian daktilitas bahan-bahan bitumen ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur. Dari hasil pengujian daktilitas bahan-bahan bitumen dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.20. Hasil Pengujian Daktilitas Sebelum Kehilangan Berat

Persiapan contoh	Contoh dipanaskan	Pembacaan suhu aspal
	Mulai jam : 08.50 WIB	140 °C
	Selesai jam : 09.50 WIB	
Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang	Pembacaan suhu ruang
	Mulai jam : 10.00 WIB	27 °C
	Selesai jam : 11.00 WIB	
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C	Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 11.00 WIB	25 °C

	Selesai jam : 12.30 WIB		
Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam : 12.30 WIB		Pembacaan suhu alat
	Selesai jam : 13.00 WIB		25°C
Daktilitas pada 25°C kecepatan mesin 5 cm per menit :			
Pengamatan	1	2	
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm	
Rata-rata	> 100 cm		
Catatan :			
Daktilitas = > 100 cm			

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Daktilitas Setelah Kehilangan Berat

Mendinginkan contoh	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai jam : 16.00 WIB		
	Selesai jam : 17.00 WIB		
Mencapai suhu pemeriksaan	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu water bath
	Mulai jam : 17.00 WIB		25 °C
	Selesai jam : 18.30 WIB		
Pemeriksaan Daktilitas	Mulai jam : 18.30 WIB		Pembacaan suhu alat
	Selesai jam : 19.00 WIB		25°C
Daktilitas pada 25°C kecepatan mesin 5 cm per menit :			
Pengamatan	1	2	
Pembacaan	> 100 cm	> 100 cm	
Rata-rata	> 100 cm		
Catatan :			
Daktilitas setelah kehilangan berat = > 100 cm			

Hasil Pengujian :

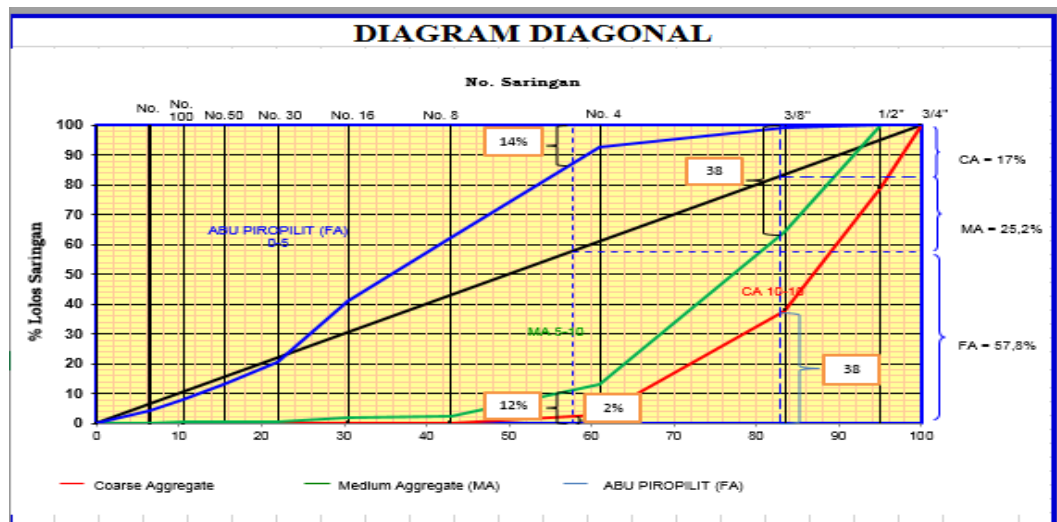
Apabila benda uji menyentuh dasar mesin atau terpanjang pada permukaan air maka pengujian dianggap gagal dan tidak normal. Untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda dengan menambah methyl alkohol atau sodium klorida.

1. Dari hasil percobaan pengujian daktilitas bahan-bahan aspal sebelum kehilangan berat dan setelah kehilangan berat panjang rata-rata yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bahan-bahan aspal keras adalah 100 cm.
2. Kedua daktilitas tersebut memenuhi syarat Depkimpraswil 2002 yaitu minimum 100 cm.

4.4 Perencanaan Komposisi Campuran

4.4.1 Perhitungan Presentase Agregat dengan Metode Grafis

Pemeriksaan analisa gradasi bertujuan untuk mengetahui berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing-masing saringan. Maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode grafis seperti pada grafik dan tabel komposisi campuran agregat dibawah :



Gambar 4.1. Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat

Keterangan :

Garis 1 : Agregat Halus = Agregat Kasar + Agregat Sedang

Garis 2 : Agregat Sedang = Agregat Kasar

Cara coba-coba :

- Garis I (garis putus-putus kiri) : 14% FA = 2% CA +12% MA
- Garis II (garis putus-putus kanan) : 38% MA= 38% CA

Garis 1 dengan garis diagonal didapatkan FA : 57,8%

Garis 2 dengan garis diagonal didapatkan CA : 17%

Sehingga MA = 100% - FA – CA

$$= 100\% - 57,8\% - 17\%$$

$$25,2\%$$

- Hasil dari plot grafik di atas didapatkan persentase agregat yang belum termasuk Filler (FF) sebagai berikut :

CA = 17% ; MA = 25,2% ; FA = 57,8%

Tabel 4.22 Komposisi Campuran Persentase Agregat Spesifikasi AC-WC

ukuran sampan	10/20	10/10	5/10	0/5	FF	10/20	10/10	5/10	0/5	FF	total	spek
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	0,00	16,33	24,20	55,52	3,95		
3/4"		100,00	100,00	100,00	100,00		16,33	24,20	55,52	3,95	100,00	100,00
1/2"		79,13	100,00	100,00	100,00		12,92	24,20	55,52	3,95	96,59	90-100
3/8"		37,88	64,33	99,38	100,00		6,19	15,57	55,18	3,95	80,88	77-90
No.4		2,90	13,01	92,69	100,00		0,47	3,15	51,46	3,95	59,03	53-69
No.8		0,17	2,56	62,29	100,00		0,03	0,62	34,58	3,95	39,18	33-53
No.16		0,16	1,79	41,23	100,00		0,03	0,43	22,89	3,95	27,30	21-40
No.30		0,14	0,49	20,47	100,00		0,02	0,12	11,36	3,95	15,45	14-30
No.50		0,13	0,44	13,16	100,00		0,02	0,11	7,30	3,95	11,38	9-22
No.100		0,12	0,39	7,90	100,00		0,02	0,09	4,39	3,95	8,45	6-15
No.200		0,06	0,33	4,44	100,00		0,01	0,08	2,46	3,95	6,50	4-8

Langkah Perhitungan untuk menentukan filler (FF) :

$$\begin{aligned} \text{➤ } CA_2 &= CA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\ &= 17\% \times \left(\frac{100-3,95}{100} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 16,33\% \\
 \text{➤ } MA_2 &= MA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\
 &= 25,2\% \times \left(\frac{100-3,95}{100} \right) \\
 &= 24,20\% \\
 \text{➤ } FA_2 &= FA_1 \times \left(\frac{100-FF}{100} \right) \\
 &= 57,8\% \times \left(\frac{100-3,95}{100} \right) \\
 &= 55,52\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, maka didapat prosentase campuran adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \%CA_2 + \%MA_2 + \%FA_2 + \%FF &= 100\% \\
 16,33\% + 24,20\% + 55,52\% + 3,95\% &= 100\%
 \end{aligned}$$

4.5 Komposisi Campuran Untuk Variasi Aspal

Variasi kadar aspal berdasarkan Depkimpraswil 2002 dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

P = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran.

CA = persen agregat tertahan saringan no.8

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

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

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

Persentase agregat komposisi spesifikasi HRS-WC sebagai berikut :

$$CA = 16,33\%$$

$$MA = 24,20 \%$$

$$FA = 55,52\%$$

$$FF = 3,95\%$$

Berdasarkan rumus di atas, komposisi campuran AC-CW (Asphalt Concrete – Wearing Couse) didapat nilai tengah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= 0,035 \times (CA_2 + MA_2) + (0,045 \times FA_2) + (0,18 \times FF) + 2,5 \\ &= 0,035 \times (16,33 + 24,20) + (0,045 \times 55,52) + (0,18 \times 3,95) + 2,5 \\ &= 5,38 \text{ dibulatkan menjadi } 5,5 \text{ (konstanta).} \end{aligned}$$

Jika kadar aspal yang diperoleh dibulatkan menjadi a%, maka digunakan variasi (a-1)%, (a-0,5)%, (a)%, (a+0,5)% dan (a+1)%, untuk mencari kadar aspal optimum dengan aspal tengah 5,5% dibuat dengan 5 variasi kadar aspal diantaranya adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%.

Tabel 4.21 Perencanaan Komposisi Campuran

Persentase Aspal		4,5	5	5,5	6	6,5
CA 10/20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CA 10/15	16,33	187,12	186,14	185,17	184,19	183,21
MA 5/10	24,20	277,38	275,93	274,48	273,03	271,58
FA 0/5	55,52	636,22	632,89	629,56	626,23	622,90
FF	3,95	45,27	45,03	44,79	44,56	44,32
total	100	1146	1140	1134	1128	1122

brt aspal	54	60	66	72	78
brt agregat	1146	1140	1134	1128	1122

Contoh perhitungan untuk variasi kadar aspal 4,5%

kadar aspal total yang dibutuhkan :

kadar aspal 4,5% x 1200	= 54	gr
total berat	= 1200	gr
berat aspal	= 54	gr
berat total agregat	= 1146	gr
agregat kasar (16,33% x 1146)	= 187,14	gr
agregat sedang (24,20% x 1146)	= 277,33	gr
agregat halus (55,52% x 1146)	= 636,26	gr
Filler (3,95% x 1146)	= <u>45,27</u>	gr +
berat total campuran aspal	= 1200	gr

4.6 Marshall Test

4.6.1 Maksud dan Tujuan

Pemeriksaan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal dan agregat. Sedangkan tujuan dari pengujian ini adalah untuk menyeragamkan cara mendapat suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan dalam kriteria perencanaan. Dari pengujian ini, didapatkan hasil-hasil pengujian kemudian selanjutnya dijadikan acuan dalam mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur.

4.6.2 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian tes marshall, didapatkan beberapa data diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. stabilitas (kg)
- b. Flow (mm)
- c. Prosentase rongga terhadap campuran VIM (%)
- d. Prosentase rongga terhadap agregat VMA (%)
- e. Prosentase rongga terhadap aspal VFB (%)
- f. Marshall Quotient (kg/mm)

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

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Mencari Kadar Aspal Optimum

5.1.1 Data Hasil Pengujian Marshall

Hasil dari pengujian Marshall kemudian dihitung dengan bantuan software Microsoft Excel. Data-data ditampilkan dalam tabel hasil pengujian tes Marshall sebagai berikut :

$$\text{Kadar Aspal} = 4,5 \%$$

$$\text{Nomor Benda Uji} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Bj Agregat} &= (\text{BjFA} \times \% \text{FA}) + (\text{Bj MA} \times \% \text{MA}) + (\text{Bj CA} \times \% \text{CA}) \\ &= (2,54 \times 52,8\%) + (2,56 \times 25,2\%) + (2,61 \times 17\%) \\ &= 1,468 + 0,645 + 0,444 \\ &= 2,56 \end{aligned}$$

$$\text{Bj Aspal} = 1,024 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{a) Diameter} = 10,10 \text{ cm}$$

$$\text{b) Tinggi 1} = 6,45 \text{ cm}$$

$$\text{c) Tinggi 2} = 6,40 \text{ cm}$$

$$\text{d) Tinggi 3} = 6,70 \text{ cm}$$

$$\text{e) Tinggi 4} = 6,15 \text{ cm}$$

$$\text{f) Tinggi rata-rata} = \frac{(6,45 + 6,40 + 6,70 + 6,15)}{4} * 10 = 64,25 \text{ mm}$$

$$\text{g) \% aspal thd agregat} = \frac{\% \text{Aspal} \times 12}{1200 - \% \text{Aspal} \times 12} * 100$$

$$= \frac{7,49 \times 12}{1200 - 7,49 \times 12} * 100$$

$$= 8,09 \%$$

$$\text{h) Berat sampel} = 1179,8 \text{ gram}$$

- i) Berat SSD = 1190,5 gram
- j) Berat dalam air = 667,2 gram
- k) Isi gram = Berat SSD – Berat dalam air
= 1190,5 – 667,2
= 523,3 gram
- l) Berat isi = $\frac{\text{Berat sampel}}{\text{Isi}}$
= $\frac{1179,8}{523,3}$
= 2,255
- m) B_j maksimum teoritis = $100 / \left(\left(\frac{17 \cdot (100 - 7,49)}{100} \right) / 2,61 + \left(\frac{25,2 \cdot (100 - 7,49)}{100} \right) / 2,56 + \left(\frac{57,8 \cdot (100 - 7,49)}{100} \right) / 2,54 + (7,49 / 1,024) \right)$
= 2,383
- n) $\left(\frac{\% \text{ aspal thd campuran} \cdot \text{berat isi}}{\text{BJ aspal}} \right) = \frac{7,49 \cdot 2,255}{1,024} = 16,485 \%$
- o) $\frac{(100 \% \text{ aspal thd campuran}) \cdot \text{berat isi}}{\text{Bj agregat}} = \frac{(100 - 7,49) \cdot 2,255}{2,56} = 78,100\%$
- p) Jumlah kandungan rongga
= $100 - \frac{\% \text{ aspal thd campuran} - \text{berat isi}}{\text{BJ aspal}} - \frac{(100 \% \text{ aspal thd campuran})}{\text{Bj agregat}}$
= 100 - 16,485 – 78,100
= 5,414 %
- q) Rongga thd agregat (VMA) = $100 - \frac{(100 \% \text{ aspal thd campuran})}{\text{Bj agregat}}$
= 100 – 78,100
= 21,900 %
- r) Rongga terisi aspal (VFA)

$$= \frac{100(\% \text{ aspal thd campuran} * \text{berat isi} / B_{\text{agregat}})}{\% \text{ rongga thd agregat VMA}}$$

$$= \frac{100(7,49 * 2,255 / 2,56)}{21,900}$$

$$= 75,276 \%$$

s) % Rongga dlm campuran (VIM)

$$= 100 - (100 * (\frac{\text{berat isi}}{B_{\text{maksimum teoritis}}}))$$

$$= 100 - (100 * (\frac{2,255}{2,383}))$$

$$= 5,385 \%$$

t) Pembacaan arloji stabilitas = 68

u) Faktor kalibrasi *proving ring* = 29,4

v) Lbf = nilai interpolasi faktor kalibrasi

= nilai pembacaan arloji stabilitas x faktor kalibrasi *proving ring*

$$= 68 \times 29,4 = 1999,2 \text{ lbf}$$

w) Nilai konfersi lbf ke kg = 0,454

x) Kg = 1999,2 x 0,454 = 906,82kg

y) Koreksi (tebal) = 0,982

z) Stabilitas (dengan koreksi benda uji) = Kg x Koreksi (tebal)

$$= 906,82 \times 0,982$$

$$= 890,78$$

aa) Flow = 4,5

bb) Marshall Quotient = $\frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} = \frac{890,78}{4,5} = 197,95$

Tabel 5.1 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		4,5%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,10	10,20	10,00	10,10	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,45	6,50	6,55	6,80	6,60
c	Tinggi 2 (cm)	6,40	6,60	6,4	6,6	6,70
d	Tinggi 3 (cm)	6,70	6,55	6,4	6,5	6,60
e	Tinggi 4 (cm)	6,15	5,85	6,05	5,98	6,08
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,25	63,75	63,50	64,70	64,95
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1179,8	1172,0	1181,2	1171,8	1155,3
j	Berat SSD (gram)	1190,5	1191,1	1201,5	1189,5	1171,2
k	Berat dalam air (gram)	667,2	672,3	675,0	671,4	668,7
l	Isi (gram)	523,3	518,80	526,45	518,1	502,45
m	Berat isi	2,255	2,259	2,244	2,262	2,299
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	16,485	16,518	16,406	16,538	16,813
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	78,100	78,257	77,725	78,349	79,652
q	Jumlah kandungan rongga (%)	5,414	5,22	5,869	5,113	3,535
r	% rongga thd agregat VMA	21,900	21,743	22,275	21,651	20,348
s	% rongga terisi aspal VFA	75,276	75,971	73,653	76,385	82,627
t	% rongga dlm campuran VIM	5,385	5,195	5,839	5,083	3,505
u	Pembacaan arloji stabilitas	68,00	77,00	68,00	67,00	67,00
v	lbf	1999,20	2263,80	1999,20	1969,80	1969,80
w	kg	906,82	1026,84	906,82	893,48	893,48
x	koreksi (tebal)	0,982	0,995	1,002	0,971	0,964
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1963,84	2252,98	2002,48	1911,90	1899,01
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	890,78	1021,93	908,31	867,22	861,37
aa	Flow	4,50	4,5	6,40	4,50	4,80
ab	Marshall Quotient	197,95	227,10	141,92	192,72	179,45

Tabel 5.2 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		5,0%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,10	10,10	10,00	10,10	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,30	6,40	6,60	6,50	6,30
c	Tinggi 2 (cm)	6,40	6,40	6,50	6,70	6,40
d	Tinggi 3 (cm)	6,25	6,30	6,70	6,70	6,30
e	Tinggi 4 (cm)	6,19	6,17	6,05	6,07	6,79
f	Tinggi rata-rata (mm)	62,85	63,18	64,63	64,93	64,48
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1179,8	1171,4	1170,1	1175,8	1180,0
j	Berat SSD (gram)	1190,3	1187,1	1194,5	1180,5	1195,0
k	Berat dalam air (gram)	672,9	676,3	679,6	663,0	678,3
l	Isi (gram)	517,35	510,75	514,85	517,50	516,65
m	Berat isi	2,280	2,293	2,273	2,272	2,284
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal	16,675	16,770	16,618	16,613	16,700
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	82,488	82,959	82,207	82,184	82,614
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,837	0,27	1,18	1,20	0,69
r	% rongga thd agregat VMA	17,512	17,041	17,793	17,816	17,386
s	% rongga terisi aspal VFA	95,219	98,410	93,396	93,252	96,054
t	% rongga dlm campuran VIM	4,297	3,750	4,623	4,649	4,151
u	Pembacaan arloji stabilitas	77,00	71,00	70,00	74,00	75,00
v	lbf	2263,80	2087,40	2058,00	2175,60	2205,00
w	kg	1026,84	946,82	933,49	986,83	1000,17
x	koreksi (tebal)	1,018	1,010	0,973	0,965	0,976
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2305,14	2108,19	2001,54	2098,84	2153,12
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	1045,59	956,26	907,88	952,01	976,63
aa	Flow	4,00	4,10	3,80	4,00	4,20
ab	Marshall Quotient	261,40	233,23	238,92	238,00	232,53

Tabel 5.3 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		5,5%				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,20	10,30	10,10	10,20	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,50	6,40	6,50	6,50	6,50
c	Tinggi 2 (cm)	6,60	6,30	6,60	6,40	6,40
d	Tinggi 3 (cm)	6,60	6,50	6,80	6,50	6,60
e	Tinggi 4 (cm)	6,07	6,20	6,14	5,99	5,92
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,43	63,50	65,10	63,48	63,55
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1184,3	1183,4	1178,5	1172,9	1183,3
j	Berat SSD (gram)	1197,0	1199,1	1195,7	1187,9	1190,7
k	Berat dalam air (gram)	678,9	683,0	680,9	675,0	672,8
l	Isi (gram)	518,05	516,10	514,75	512,85	517,90
m	Berat isi	2,286	2,293	2,289	2,287	2,285
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	16,716	16,766	16,741	16,723	16,707
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	82,691	82,940	82,813	82,725	82,645
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,594	0,29	0,45	0,55	0,65
r	% rongga thd agregat VMA	17,309	17,060	17,187	17,275	17,355
s	% rongga terisi aspal VFA	96,571	98,278	97,404	96,803	96,262
t	% rongga dlm campuran VIM	4,062	3,772	3,919	4,022	4,115
u	Pembacaan arloji stabilitas	80,00	81,00	78,00	78,00	68,00
v	lbf	2352,00	2381,40	2293,20	2293,20	1999,20
w	kg	1066,84	1080,18	1040,17	1040,17	906,82
x	koreksi (tebal)	0,978	1,002	0,960	1,002	1,000
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2299,72	2385,31	2201,76	2298,43	1999,92
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	1043,13	1081,95	998,69	1042,55	907,14
aa	Flow	3,05	2,95	2,85	3,15	3,25
ab	Marshall Quotient	342,01	366,76	350,42	330,97	279,12

Tabel 5.4 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,10	10,10	10,10	10,10	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,30	6,20	6,20	6,30	6,2
c	Tinggi 2 (cm)	6,20	6,20	6,30	6,30	6,2
d	Tinggi 3 (cm)	6,40	6,20	6,20	6,20	6,2
e	Tinggi 4 (cm)	6,30	6,20	6,30	6,30	6,2
f	Tinggi rata-rata (mm)	63,00	62,00	62,50	62,75	62,00
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1179,6	1183,6	1177,2	1175,3	1170,6
j	Berat SSD (gram)	1190,2	1198,0	1190,4	1190,6	1181,4
k	Berat dalam air (gram)	671,1	679,3	676,2	677,2	667,8
l	Isi (gram)	519,15	518,7	514,2	513,4	513,6
m	Berat isi	2,272	2,282	2,289	2,289	2,279
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / bj \text{ aspal}$	16,614	16,685	16,740	16,739	16,666
p	$((100-g) \cdot l) / bj \text{ agregat}$	82,229	82,580	82,852	82,847	82,484
q	Jumlah kandungan rongga (%)	1,16	0,735	0,408	0,414	0,851
r	% rongga thd agregat VMA	17,771	17,420	17,148	17,153	17,516
s	% rongga terisi aspal VFA	93,493	95,780	97,621	97,588	95,144
t	% rongga dlm campuran VIM	4,645	4,238	3,923	3,928	4,350
u	Pembacaan arloji stabilitas	68,50	77,50	59,50	97,50	60,50
v	lbf	2013,90	2278,50	1749,30	2866,50	1778,70
w	kg	913,48	1033,50	793,46	1300,22	806,80
x	koreksi (tebal)	1,014	1,040	1,027	1,021	1,040
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2042,97	2369,50	1796,85	2926,16	1849,74
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	926,67	1074,78	815,04	1327,28	839,02
aa	Flow	2,9	3,00	3,00	3,00	3,10
ab	Marshall Quotient	319,54	358,26	271,68	442,43	270,65

Tabel 5.5 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 30 menit Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6,5 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,00	10,10	10,10	10,20	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,40	6,10	6,30	6,10	6,20
c	Tinggi 2 (cm)	6,30	6,10	6,40	5,90	6,20
d	Tinggi 3 (cm)	6,40	6,20	6,40	6,00	6,20
e	Tinggi 4 (cm)	6,30	6,20	6,40	6,10	6,20
f	Tinggi rata-rata (mm)	63,50	61,50	63,75	60,25	62,00
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1171,3	1171,0	1174,5	1170,2	1152,8
j	Berat SSD (gram)	1193,9	1195,0	1185,3	1186,5	1175,8
k	Berat dalam air (gram)	678,4	678,9	668,1	667,9	664,5
l	Isi (gram)	515,50	516,10	517,20	518,60	511,30
m	Berat isi	2,272	2,269	2,271	2,256	2,255
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	(g*1)/bj aspal)	16,614	16,591	16,605	16,499	16,486
p	((100-g)*1)/bj agregat	82,229	82,112	82,183	81,661	81,595
q	Jumlah kandungan rongga (%)	1,157	1,30	1,21	1,84	1,92
r	% rongga thd agregat VMA	17,771	17,888	17,817	18,339	18,405
s	% rongga terisi aspal VFA	93,490	92,749	93,194	89,967	89,574
t	% rongga dlm campuran VIM	4,645	4,781	4,699	5,304	5,380
u	Pembacaan arloji stabilitas	58,00	66,00	64,00	85,00	67,00
v	lbf	1705,20	1940,40	1881,60	2499,00	1969,80
w	kg	773,46	880,15	853,47	1133,52	893,48
x	koreksi (tebal)	1,002	1,053	0,995	1,085	1,040
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1708,00	2042,73	1872,61	2712,11	2048,47
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	774,73	926,56	849,40	1230,19	929,17
aa	Flow	4,2	3,20	2,90	3,50	1,60
ab	Marshall Quotient	184,46	289,55	292,90	351,48	580,73

Tabel 5.6 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		4,5 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,10	10,20	10,00	10,10	10,00
b	Tinggi 1 (cm)	6,50	6,40	6,50	6,40	6,40
c	Tinggi 2 (cm)	6,40	6,5	6,50	6,4	6,60
d	Tinggi 3 (cm)	6,50	6,40	6,40	6,55	6,40
e	Tinggi 4 (cm)	6,35	6,45	6,50	6,55	6,40
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,38	64,17	64,75	64,75	64,50
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1156,6	1168,7	1176,6	1183,7	1174,5
j	Berat SSD (gram)	1165,0	1175,5	1178,1	1187,0	1188,1
k	Berat dalam air (gram)	658,7	658,5	659,1	664,8	668,7
l	Isi (gram)	506,3	517,00	519	522,2	519,4
m	Berat isi	2,284	2,261	2,267	2,267	2,261
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	16,704	16,529	16,577	16,575	16,534
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	79,135	78,308	78,534	78,524	78,333
q	Jumlah kandungan rongga (%)	4,161	5,16	4,889	4,902	5,132
r	% rongga thd agregat VMA	20,865	21,692	21,466	21,476	21,667
s	% rongga terisi aspal VFA	80,058	76,200	77,223	77,176	76,313
t	% rongga dlm campuran VIM	4,131	5,133	4,860	4,872	5,103
u	Pembacaan arloji stabilitas	65,00	65,00	70,00	63,00	65,00
v	lbf	1911,00	1911,00	2058,00	1852,20	1911,00
w	kg	866,81	866,81	933,49	840,14	866,81
x	koreksi (tebal)	0,979	0,984	0,969	0,969	0,976
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1871,00	1881,33	1994,82	1795,34	1864,79
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	848,67	853,35	904,83	814,35	845,85
aa	Flow	2,80	4,6	4,80	3,80	4,30
ab	Marshall Quotient	303,10	185,51	188,51	214,30	196,71

Tabel 5.7 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		5 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,00	10,20	10,00	10,20	10,00
b	Tinggi 1 (cm)	6,40	6,20	6,50	6,30	6,40
c	Tinggi 2 (cm)	6,50	6,30	6,40	6,50	6,40
d	Tinggi 3 (cm)	6,30	6,30	6,40	6,40	6,30
e	Tinggi 4 (cm)	6,50	6,40	6,50	6,50	6,30
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,25	63,00	64,50	64,25	63,50
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1145,2	1164,9	1187,8	1157,5	1158,1
j	Berat SSD (gram)	1157,3	1172,8	1197,1	1163,0	1169,6
k	Berat dalam air (gram)	655,2	660,8	653,8	653,1	659,2
l	Isi (gram)	502,10	512,00	520,80	509,90	510,40
m	Berat isi	2,281	2,275	2,281	2,270	2,269
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	$(g \cdot l) / b_j$ aspal)	16,677	16,636	16,677	16,599	16,591
p	$((100-g) \cdot l) / b_j$ agregat	82,542	82,339	82,539	82,153	82,115
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,780	1,02	0,78	1,25	1,29
r	% rongga thd agregat VMA	17,458	17,661	17,461	17,847	17,885
s	% rongga terisi aspal VFA	95,530	94,196	95,507	93,003	92,763
t	% rongga dlm campuran VIM	4,282	4,518	4,286	4,734	4,778
u	Pembacaan arloji stabilitas	68,00	61,00	71,00	69,00	76,00
v	lbf	1999,20	1793,40	2087,40	2028,60	2234,40
w	kg	906,82	813,47	946,82	920,15	1013,50
x	koreksi (tebal)	0,982	1,014	0,976	0,982	1,002
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1963,84	1819,28	2036,93	1992,72	2238,07
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	890,78	825,21	923,93	903,88	1015,17
aa	Flow	3,35	4,05	2,85	3,05	4,05
ab	Marshall Quotient	265,90	203,76	324,19	296,35	250,66

Tabel 5.8 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		5,5 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,10	10,00	10,00	10,20	10,00
b	Tinggi 1 (cm)	6,40	6,20	6,50	6,30	6,40
c	Tinggi 2 (cm)	6,50	6,50	6,30	6,40	6,40
d	Tinggi 3 (cm)	6,30	6,50	6,30	6,50	6,40
e	Tinggi 4 (cm)	6,40	6,40	6,30	6,30	6,50
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,00	64,00	63,50	63,75	64,25
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1169,5	1167,7	1158,8	1169,0	1149,7
j	Berat SSD (gram)	1172,0	1169,1	1161,3	1174,4	1153,2
k	Berat dalam air (gram)	660,3	658,8	654,9	663,0	650,4
l	Isi (gram)	511,70	510,30	506,40	511,40	502,80
m	Berat isi	2,286	2,288	2,288	2,286	2,287
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	(g*1)/bj aspal)	16,712	16,732	16,732	16,714	16,720
p	((100-g)*1)/bj agregat	82,712	82,812	82,813	82,725	82,751
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,576	0,46	0,45	0,56	0,53
r	% rongga thd agregat VMA	17,288	17,188	17,187	17,275	17,249
s	% rongga terisi aspal VFA	96,669	97,344	97,355	96,758	96,933
t	% rongga dlm campuran VIM	4,085	3,970	3,968	4,070	4,040
u	Pembacaan arloji stabilitas	67,50	75,50	82,50	66,50	69,50
v	lbf	1984,50	2219,70	2425,50	1955,10	2043,30
w	kg	900,15	1006,83	1100,18	886,81	926,82
x	koreksi (tebal)	0,989	0,989	1,002	0,995	0,982
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1962,23	2194,79	2429,48	1945,76	2007,16
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	890,05	995,54	1101,99	882,58	910,43
aa	Flow	4,1	2,30	2,80	3,80	3,10
ab	Marshall Quotient	217,09	432,84	393,57	232,26	293,69

Tabel 5.9 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,30	10,10	10,00	10,30	10,10
b	Tinggi 1 (cm)	6,50	6,43	6,50	6,30	6,3
c	Tinggi 2 (cm)	6,30	6,40	6,50	6,30	6,5
d	Tinggi 3 (cm)	6,50	6,30	6,30	6,40	6,5
e	Tinggi 4 (cm)	6,40	6,40	6,50	6,50	6,3
f	Tinggi rata-rata (mm)	64,25	63,83	64,50	63,75	64,00
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1168,5	1160,4	1140,7	1143,5	1142,1
j	Berat SSD (gram)	1180,4	1173,5	1151,0	1155,2	1157,8
k	Berat dalam air (gram)	667,3	664,5	652,7	656,1	659,1
l	Isi (gram)	513,10	509,0	498,3	499,1	498,7
m	Berat isi	2,277	2,280	2,289	2,291	2,290
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	(g*1)/bj aspal	16,652	16,670	16,739	16,753	16,746
p	((100-g)*1)/bj agregat	82,416	82,504	82,845	82,915	82,880
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,93	0,826	0,416	0,332	0,374
r	% rongga thd agregat VMA	17,584	17,496	17,155	17,085	17,120
s	% rongga terisi aspal VFA	94,700	95,278	97,572	98,056	97,814
t	% rongga dlm campuran VIM	4,428	4,326	3,931	3,850	3,890
u	Pembacaan arloji stabilitas	70,00	66,00	61,00	78,00	73,00
v	lbf	2058,00	1940,40	1793,40	2293,20	2146,20
w	kg	933,49	880,15	813,47	1040,17	973,49
x	koreksi (tebal)	0,982	0,993	0,976	0,995	0,989
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	2021,60	1927,38	1750,04	2282,24	2122,12
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	916,98	874,24	793,80	1035,20	962,57
aa	Flow	2,65	3,15	3,95	2,65	2,95
ab	Marshall Quotient	346,03	277,54	200,96	390,64	326,30

Tabel 5.10 Perhitungan Marshall Test Campuran AC-WC Direndam Dalam Water Bath Selama 24 Jam Pada Suhu 60°C

Kadar Aspal		6,5 %				
No. Benda Uji		1	2	3	4	5
a	Diameter (cm)	10,00	10,00	10,10	10,20	10,20
b	Tinggi 1 (cm)	6,41	6,40	6,50	6,42	6,42
c	Tinggi 2 (cm)	6,40	6,50	6,50	6,30	6,20
d	Tinggi 3 (cm)	6,50	6,50	6,20	6,40	6,40
e	Tinggi 4 (cm)	6,20	6,30	6,30	6,50	6,50
f	Tinggi rata-rata (mm)	63,78	64,25	63,75	64,05	63,80
g	% aspal thd agregat	8,09	8,09	8,09	8,09	8,09
h	% aspal thd campuran	7,49	7,49	7,49	7,49	7,49
I	Berat sampel (gram)	1164,1	1168,8	1165,5	1163,7	1168,6
j	Berat SSD (gram)	1170,5	1181,3	1180,0	1170,4	1178,5
k	Berat dalam air (gram)	659,8	668,6	667,9	658,8	665,4
l	Isi (gram)	510,70	512,70	512,10	511,60	513,10
m	Berat isi	2,279	2,280	2,276	2,275	2,278
n	BJ maksimum teoritis	2,383	2,383	2,383	2,383	2,383
o	(g*1)/bj aspal)	16,667	16,669	16,642	16,632	16,653
p	((100-g)*1)/bj agregat	82,492	82,502	82,365	82,318	82,423
q	Jumlah kandungan rongga (%)	0,841	0,83	0,99	1,05	0,92
r	% rongga thd agregat VMA	17,508	17,498	17,635	17,682	17,577
s	% rongga terisi aspal VFA	95,195	95,261	94,367	94,064	94,746
t	% rongga dlm campuran VIM	4,341	4,329	4,488	4,542	4,420
u	Pembacaan arloji stabilitas	61,50	63,50	58,50	64,50	69,50
v	lbf	1808,10	1866,90	1719,90	1896,30	2043,30
w	kg	820,14	846,81	780,13	860,14	926,82
x	koreksi (tebal)	0,995	0,982	0,995	0,987	0,994
y	Stabilitas lbf (dg koreksi)	1798,30	1833,88	1711,68	1872,57	2030,91
z	Stabilitas kg (dg koreksi)	815,69	831,83	776,40	849,38	921,20
aa	Flow	4	3,80	3,10	2,80	1,90
ab	Marshall Quotient	203,92	218,90	250,45	303,35	484,84

5.1.2 Pengujian Interval Kepercayaan

Data-data yang telah diperoleh kemudian disortir kembali dengan pengujian interval kepercayaan, dimana tujuannya adalah untuk mencari kevalidan data yang telah didapatkan (Sudjana, 1982). Dalam penelitian 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 dieliminasi, sehingga tertinggal data-data valid yang siap untuk diuji secara statistik.

Dibawah ini adalah contoh perhitungan Interval Kepercayaan untuk data pengujian Marshall

Tabel 5.11. Data Pengujian Stabilitas

	stabilitas (kg)
	1045,59
	956,26
	907,88
	952,01
	976,63

Dari data stabilitas pada table di atas kemudian dicari nilai :

$$X = \frac{\text{Jumlah Stabilitas}}{n}$$
$$= \frac{1045,59+956,26+907,88+952,01+976,63}{5}$$

$$= 967,674 \text{ kg}$$

$$s = \sqrt{\frac{(890,78-1021,93)^2 + \text{sampai} + (867,22-8861,37)^2}{5-1}}$$

$$= 65,374$$

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

$$dk = n - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$t_{0,975} = 2,776 \text{ (tabel student)}$$

Dimana :

X = Nilai rata-rata

s = Standart deviasi

P = Persentil

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

Maka interval kepercayaannya adalah :

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

$$= 909,92 - \left(2,776 \times \frac{65,374}{\sqrt{5}} \right) < \mu < 909,92 + \left(2,776 \times 65,374 \right)$$

$$= 829,762 < \mu < 991,082$$

Jadi, sesuai dengan range interval kepercayaan untuk data stabilitas di atas, maka data stabilitas memenuhi. Setelah disortir maka data yang valid adalah sebagai berikut :

Tabel 5.12 Data Pengujian Stabilitas terhadap Berat Aspal setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan

	bilitas (kg)
	1045,59
	956,,26
	907,88
	952,01
	976,63

Dengan cara yang sama kita dapat mencari interval kepercayaan untuk semua parameter dengan variasi yang sudah ditentukan. Selanjutnya adalah table interval kepercayaan untuk semua perhitungan.

Tabel 5.13 Interval Kepercayaan Stabilitas (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	909,922	65,37	0,975	4	2,776	828,762	991,082
5	982,623	50,25	0,975	4	2,776	905,285	1030,063
5,5	1007,584	66,95	0,975	4	2,776	931,572	1097,814
6	977,000	211,04	0,975	4	2,776	734,563	1258,551
6,5	945,870	173,21	0,975	4	2,776	726,972	1157,045

Tabel 5. 14. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	828,762	991,082	890,779	1021,930	908,306	867,220	861,373	909,922
5	905,285	1030,063	1045,588	956,256	907,878	952,015	976,634	982,623
5,5	931,572	1097,814	1043,130	1081,952	998,694	1042,547	907,143	1007,584
6	734,563	1258,551	926,669	1074,781	815,035	1327,275	839,023	977,000
6,5	726,972	1157,045	774,731	926,562	849,396	1230,188	929,166	945,870

■ = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.13 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.14. Kemudian rata-


rata tiap prosentase data pengujian stabilitas dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.1.

Tabel 5.15 Interval Kepercayaan Flow (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	4,94	0,83	0,975	4	2,776	3,914	5,966
5	4,02	0,15	0,975	4	2,776	3,836	4,204
5,5	3,05	0,16	0,975	4	2,776	2,854	3,246
6	3,00	0,07	0,975	4	2,776	2,912	3,088
6,5	3,08	0,96	0,975	4	2,776	1,891	4,269

Tabel 5.16 Data Pengujian Flow setelah dilakukan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Flow Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	3,914	5,966	4,50	4,50	6,40	4,50	4,80	5,050
5	3,836	4,204	4,00	4,10	3,80	4,00	4,20	4,075
5,5	2,854	3,246	3,05	2,95	2,85	3,15	3,25	3,000
6	2,912	3,088	2,90	3,00	3,00	3,00	3,10	3,000
6,5	1,891	4,269	4,20	3,20	2,90	3,50	1,60	2,975

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.15 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.16. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian Flow dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.3

Tabel 5.17 Interval Kepercayaan VIM (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	5,0016	0,88	0,975	4	2,776	3,9029	6,1003
5	4,2939	0,37	0,975	4	2,776	3,8335	4,7543
5,5	3,9779	0,14	0,975	4	2,776	3,8098	4,1461
6	4,2168	0,30	0,975	4	2,776	3,8387	4,5949
6,5	4,9620	0,35	0,975	4	2,776	4,5254	5,3985

Tabel 5.18 Data Pengujian VIM setelah dilakukan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VIM Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	3,9029	6,1003	5,3849	5,1952	5,8395	5,0833	3,5051	4,9058
5	3,8335	4,7543	4,2968	3,7503	4,6227	4,6489	4,1509	4,2052
5,5	3,8098	4,1461	4,0616	3,7723	3,9194	4,0217	4,1148	4,0294
6	3,8387	4,5949	4,6448	4,2384	3,9227	3,9283	4,3498	4,1836
6,5	4,5254	5,3985	4,6453	4,7806	4,6991	5,3043	5,3805	5,0073

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.17 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.18. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VIM dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.5.

Tabel 5.19 Interval Kepercayaan VMA (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	21,583 1	0,73	0,975	4	2,776	20,6762	22,4900
5	17,175 8	0,32	0,975	4	2,776	16,7774	17,5742
5,5	16,902 3	0,12	0,975	4	2,776	16,7568	17,0478
6	17,109 0	0,26	0,975	4	2,776	16,7818	17,4363
6,5	17,753 9	0,30	0,975	4	2,776	17,3761	18,1317

Tabel 5.20 Data Pengujian VMA setelah dilakukan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VMA Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	20,676 2	22,490 0	21,899 6	21,743 0	22,274 8	21,650 6	20,347 8	21,504 0
5	17,070 9	17,865 0	17,470 4	16,999 2	17,751 5	17,774 1	17,344 6	17,391 4
5,5	17,050 5	17,340 5	17,267 6	17,018 1	17,145 0	17,233 2	17,313 5	17,239 8
6	17,075 4	17,727 5	17,770 5	17,420 1	17,147 9	17,152 7	17,516 1	17,372 8
6,5	17,667 6	18,420 5	17,771 0	17,887 6	17,817 4	18,339 3	18,405 0	18,083 2

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.19 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.20. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VMA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.7

Tabel 5.21 Interval Kepercayaan Marshall Quotient (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	187,83	31,01	0,975	4	2,776	149,3334	226,3216
5	240,82	11,85	0,975	4	2,776	226,1109	255,5214
5,5	333,86	33,27	0,975	4	2,776	292,5505	375,1617
6	332,51	71,48	0,975	4	2,776	243,7675	421,2554
6,5	339,82	147,51	0,975	4	2,776	156,6929	522,9537

Tabel 5.22 Data Pengujian Marshall Quotient setelah dilakukan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data MQ Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	149,3334	226,3216	197,9508	227,0955	141,9228	192,7156	179,4528	187,8275
5	226,1109	255,5214	261,3970	233,2332	238,9152	238,0037	232,5319	240,8162
5,5	292,5505	375,1617	342,0098	366,7635	350,4191	330,9672	279,1208	346,5802
6	243,7675	421,2554	319,5410	358,2604	271,6785	442,4250	270,6525	347,7197
6,5	156,6929	522,9537	184,4598	289,5508	292,8952	351,4823	580,7285	351,5553

 = Data yang di hapus (sortir)


Dari tabel 5.21 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.22. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian Marshall Quotient dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.9.

Tabel 5.23 Interval Kepercayaan VFA (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	76,78	3,43	0,975	4	2,776	72,5252	81,0395
5	95,49	2,13	0,975	4	2,776	92,8432	98,1437
5,5	97,30	0,80	0,975	4	2,776	96,3047	98,2942
6	95,93	1,75	0,975	4	2,776	93,7581	98,0926
6,5	91,79	1,87	0,975	4	2,776	89,4706	94,1185

Tabel 5.24 Data Pengujian VFA setelah dilakukan pengujian Interval Kepercayaan (Perendaman 30 Menit)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VFA Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	72,525 2	81,039 5	75,276 4	75,970 7	73,653 0	76,384 8	82,626 8	77,158 8
5	92,843 2	98,143 7	95,445 8	98,652 0	93,614 6	93,470 1	96,284 8	95,999 3
5,5	96,304 7	98,294 2	96,804 4	98,519 7	97,641 2	97,038 0	96,494 1	96,994 4
6	93,758 1	98,092 6	93,492 8	95,779 9	97,621 4	97,588 3	95,144 2	96,120 6
6,5	89,470 6	94,118 5	93,489 9	92,748 6	93,194 0	89,966 7	89,573 6	91,556 1

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.23 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.24. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.11.

Tabel 5.25 Interval Kepercayaan Stabilitas (Perendaman 24 Jam)

Kadar ASPAL	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	853,410	32,59	0,975	4	2,776	812,945	893,875
5	911,792	68,62	0,975	4	2,776	826,604	996,980
5,5	956,116	93,13	0,975	4	2,776	840,497	1071,734
6	916,558	90,90	0,975	4	2,776	803,704	1029,412
6,5	838,900	53,33	0,975	4	2,776	772,689	905,111

Tabel 5. 26. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Stabilitas Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	812,945	893,875	848,669	853,3503	904,8313	814,3482	845,8522	840,555
5	826,604	996,980	890,7787	825,2088	923,9309	903,8784	1015,165	913,771
5,5	840,497	1071,734	890,049	995,5363	1101,988	882,5757	910,428	972,632
6	803,704	1029,412	916,978	874,241	793,7998	1035,202	962,5715	905,055

6,5	772,6 89	905,11 1	815,68 91	831,83 01	776,40 12	849,38 07	921,19 87	840,6 67
-----	-------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.25 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.26. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.2.

Tabel 5.27 Interval Kepercayaan Flow (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4.5	4.06	0.80	0.975	4	2.776	3.068	5.052
5	3.47	0.56	0.975	4	2.776	2.777	4.163
5.5	3.22	0.73	0.975	4	2.776	2.310	4.130
6	3.07	0.54	0.975	4	2.776	2.405	3.735
6.5	3.12	0.84	0.975	4	2.776	2.076	4.164

Tabel 5. 28. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data Flow Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4.5	3.068	5.052	2.80	4.60	4.80	3.80	4.30	4.125
5	2.777	4.163	3.35	4.05	2.85	3.05	4.05	3.625
5.5	2.310	4.130	4.10	2.30	2.80	3.80	3.10	3.220
6	2.405	3.735	2.65	3.15	3.95	2.65	2.95	2.850

6.5	2.076	4.164	4.00	3.80	3.10	2.80	1.90	3.200
-----	-------	-------	------	------	------	------	------	-------

■ = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.27 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.28. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.4.

Tabel 5.29 Interval Kepercayaan VIM (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4.5	4.8198	0.41	0.975	4	2.776	4.3167	5.3229
5	4.5196	0.24	0.975	4	2.776	4.2261	4.8131
5.5	4.0263	0.06	0.975	4	2.776	3.9580	4.0946
6	4.0851	0.27	0.975	4	2.776	3.7490	4.4212
6.5	4.4239	0.09	0.975	4	2.776	4.3097	4.5381

Tabel 5. 30. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VIM Hasil Tes Marshal					Rata – rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4.5	4.3167	5.3229	4.1311	5.1330	4.8598	4.8722	5.1027	4.9919
5	4.2261	4.8131	4.2820	4.5181	4.2861	4.7339	4.7779	4.4660
5.5	3.9580	4.0946	4.0848	3.9697	3.9677	4.0696	4.0396	4.0229

6	3.7490	4.4212	4.4283	4.3263	3.9310	3.8496	3.8903	4.1440
6.5	4.3097	4.5381	4.3407	4.3292	4.4875	4.5418	4.4201	4.4248

■ = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.29 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.30. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.6.

Tabel 5.31 Interval Kepercayaan VAM (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	21,43	0,33	0,975	4	2,776	21,02	21,85
5	17,66	0,20	0,975	4	2,776	17,41	17,92
5,5	17,24	0,05	0,975	4	2,776	17,18	17,30
6	17,29	0,23	0,975	4	2,776	17,00	17,58
6,5	17,58	0,08	0,975	4	2,776	17,48	17,68

Tabel 5. 32. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VAM (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VMA Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	21,02	21,85	20,86	21,69	21,47	21,47633	21,67	21,58
5	17,41	17,92	17,46	17,66	17,46	17,84735	17,89	17,62

5,5	17,18	17,30	17,29	17,19	17,19	17,27451	17,25	17,25
6	17,00	17,578	17,584	17,50	17,16	17,0848	17,12	17,34
6,5	17,48	17,679	17,51	17,50	17,635	17,68176	17,58	17,58

■ = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.31 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.32. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.8.

Tabel 5.33 Interval Kepercayaan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	$t_{0,975}$	Batas Min	Batas Max
4,5	217,63	49,07	0,975	4	2,776	156,7016	278,5486
5	268,17	45,81	0,975	4	2,776	211,3034	325,0395
5,5	313,89	96,10	0,975	4	2,776	194,5819	433,1932
6	308,29	72,45	0,975	4	2,776	218,3503	398,2360
6,5	292,29	114,17	0,975	4	2,776	150,5500	434,0375

Tabel 5. 34. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data MQ Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	156,7016	278,5486	303,0960	185,5109	188,5065	214,3021	196,7098	224,9047
5	211,3034	325,0395	265,9041	203,7553	324,1863	296,3536	250,6581	261,1259

5,5	194,58 19	433,19 32	217,08 51	432,84 19	393,56 73	232,25 68	293,68 65	319,59 51
6	218,35 03	398,23 60	346,02 95	277,53 68	200,96 20	390,64 21	326,29 54	303,79 26
6,5	150,55 00	434,03 75	203,92 23	218,90 27	250,45 20	303,35 03	484,84 14	292,29 37

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.33 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.34. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.10.

Tabel 5.35 Interval Kepercayaan VFA (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	X	s	P	dk	t _{0,975}	Batas Min	Batas Max
4,5	77,39	1,56	0,975	4	2,776	75,4541	79,3337
5	94,20	1,32	0,975	4	2,776	92,5609	95,8392
5,5	97,01	0,32	0,975	4	2,776	96,6108	97,4124
6	96,68	1,57	0,975	4	2,776	94,7344	98,6335
6,5	94,73	0,52	0,975	4	2,776	94,0832	95,3702

Tabel 5. 36. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA (Perendaman 24 Jam)

Kadar Aspal	Interval Kepercayaan		Data VFA Hasil Tes Marshal					Rata - rata (Kg)
	Batas Min	Batas Max	1	2	3	4	5	
4,5	75,45 4	79,333 7	80,057 7	76,2005	77,222 8	77,175 9	76,312 7	76,728 0
5	92,56 1	95,839 2	95,530 4	94,1963	95,506 7	93,003 4	92,763 3	94,499 2

5,5	96,61 1	97,412 4	96,668 7	97,3437	97,355 5	96,757 6	96,932 6	96,925 6
6	94,73 4	98,633 5	94,699 9	95,2775	97,572 1	98,056 3	97,813 9	96,340 9
6,5	94,08 3	95,370 2	95,195 4	95,2611 5	94,367 1	94,063 7	94,746 0	94,721 8

 = Data yang di hapus (sortir)

Dari tabel 5.35 didapat data interval kepercayaan batas atas dan batas bawah untuk data pengujian stabilitas yang akan disortir pada tabel 5.36. Kemudian rata-rata tiap prosentase data pengujian VFA dimasukkan ke dalam grafik gambar 5.12

5.2 Perhitungan Indeks Perendaman (IP)

Uji Indeks Perendaman (Marshall Imersion Test) dimaksudkan untuk mengukur tingkat durabilitas campuran (merupakan indicator dari tingkat ketahanan campuran) terhadap pengaruh cuaca. Ukuran ini dinyatakan dalam nilai rata-rata stabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan yang didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

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

Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada table berikut ini :

Tabel 5.37 Data Indeks Perendaman

Kadar aspal	Stabilitas		Indeks Perendaman (IP)	Syarat (90%)
	30 menit	24 jam	%	
4,5%	92,377	840,555	909,922	Memenuhi
5,0%	92,993	913,771	982,623	
5,5%	96,531	972,632	1007,584	
6,0%	92,636	905,055	977,000	
6,5%	92,122	840,667	92,122	

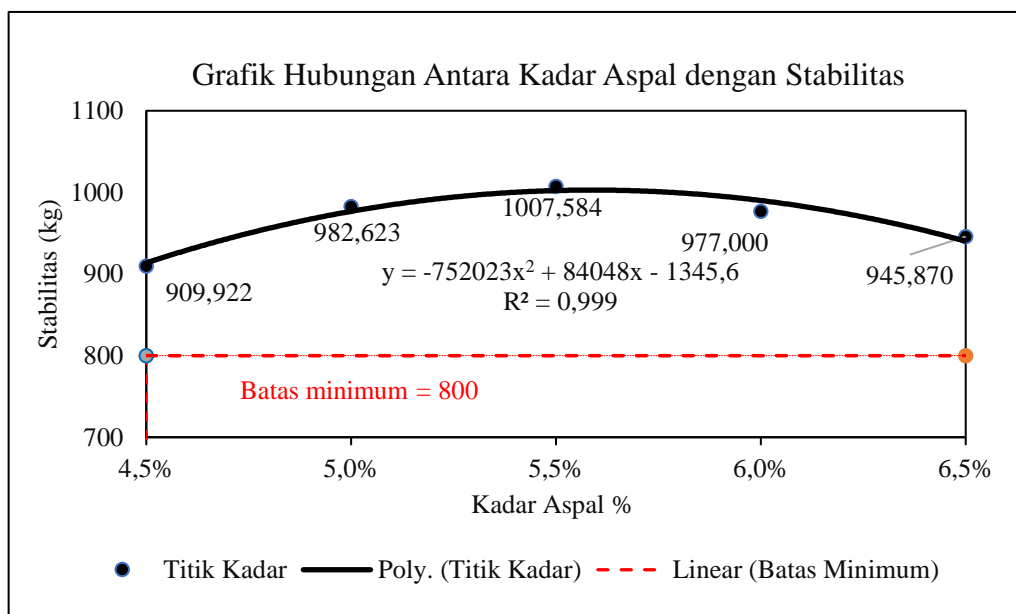
5.3 Menentukan Kadar Aspal Optimum

A. Perhitungan Menggunakan Program Microsoft Excel 2016

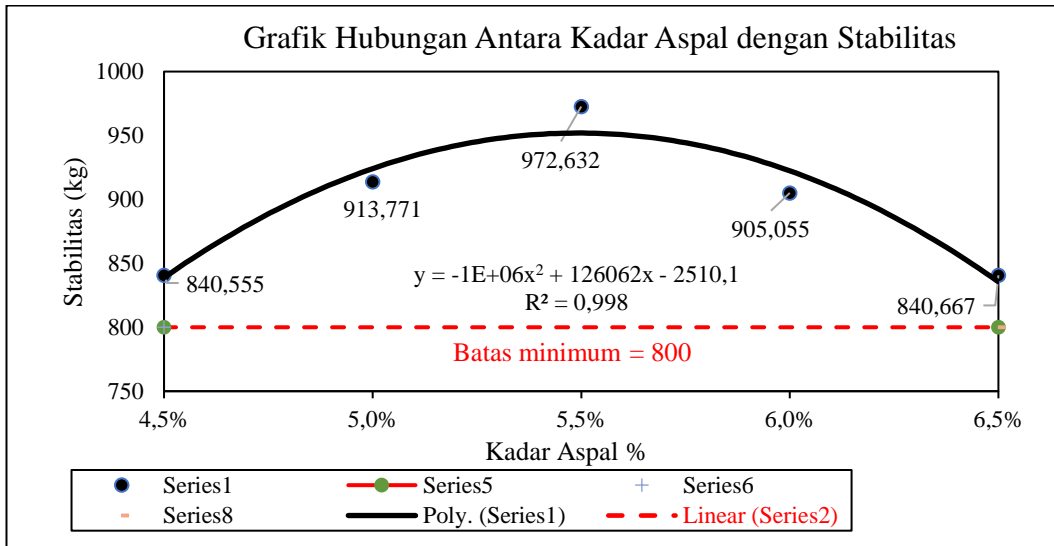
Berdasarkan dari table 5.13. sampai 5.36. diatas dapat diplotkan data dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara lain :

- 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

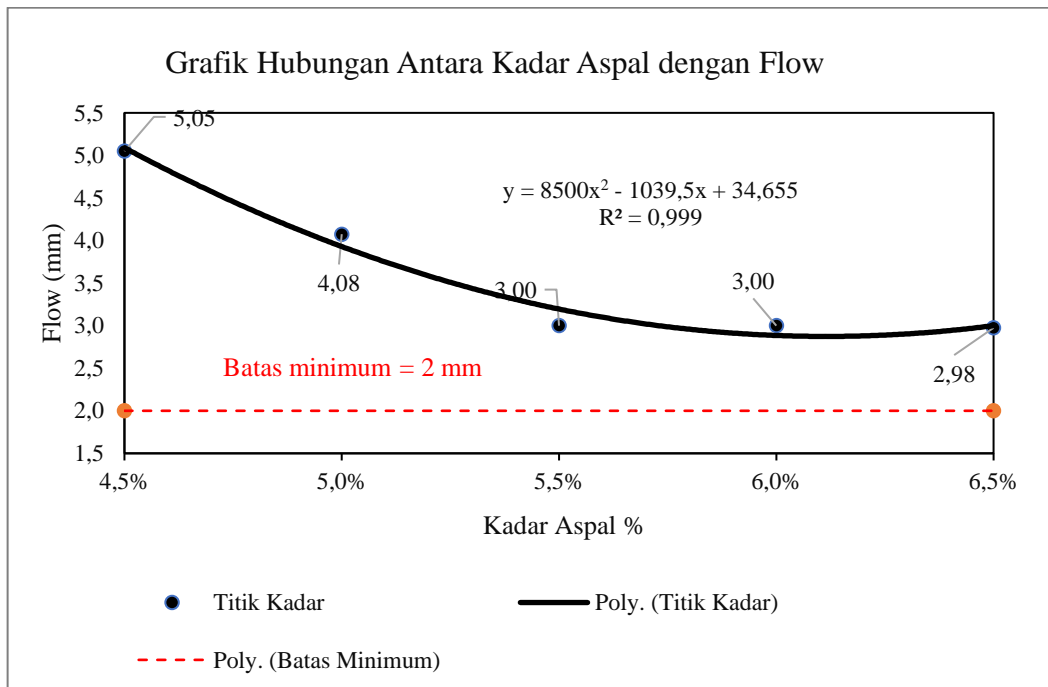
Perhitungan mencari kadar Aspal optimum didasarkan pada hasil dari perhitungan parameter pengujian Marshall yang digambarkan dalam grafik-grafik berikut ini :



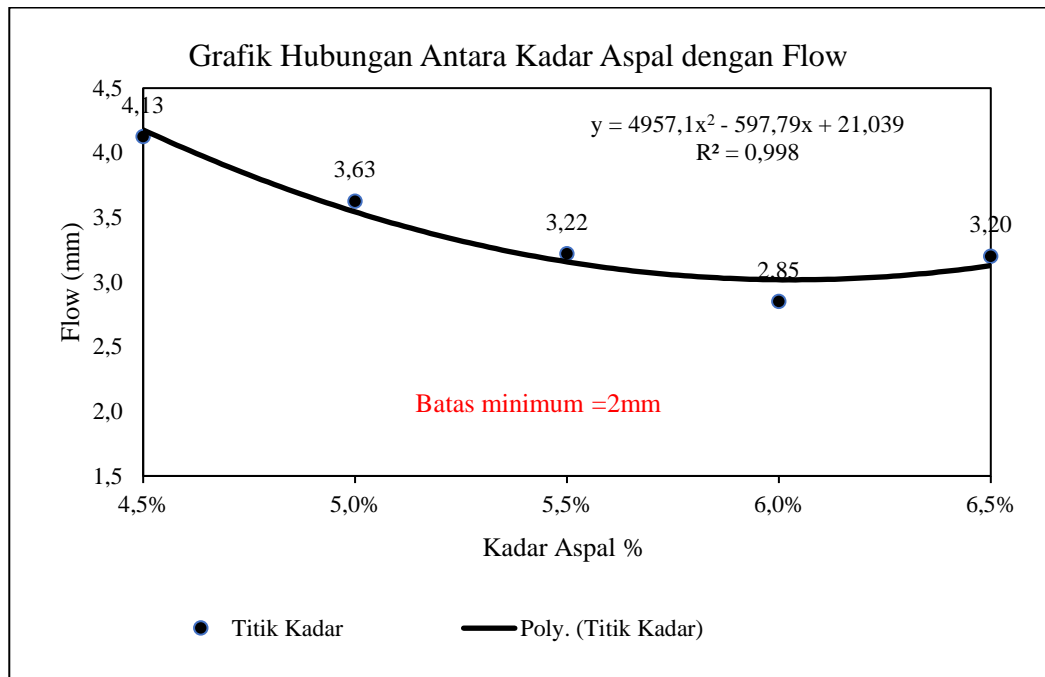
Gambar 5.1. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 30 Menit)



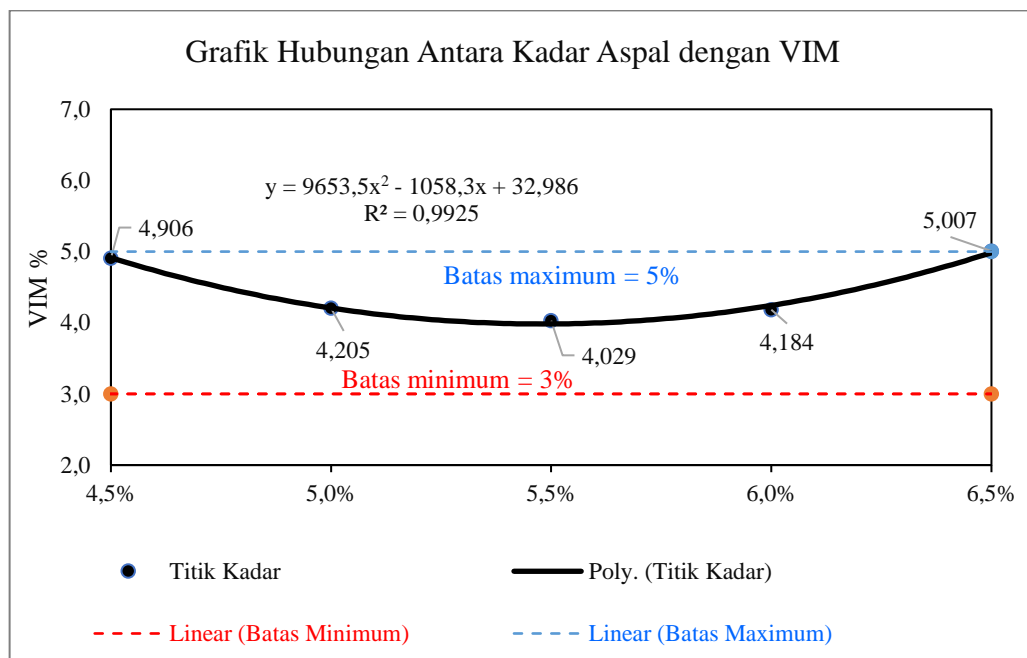
Gambar 5.2. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas (Perendaman 24 Jam)



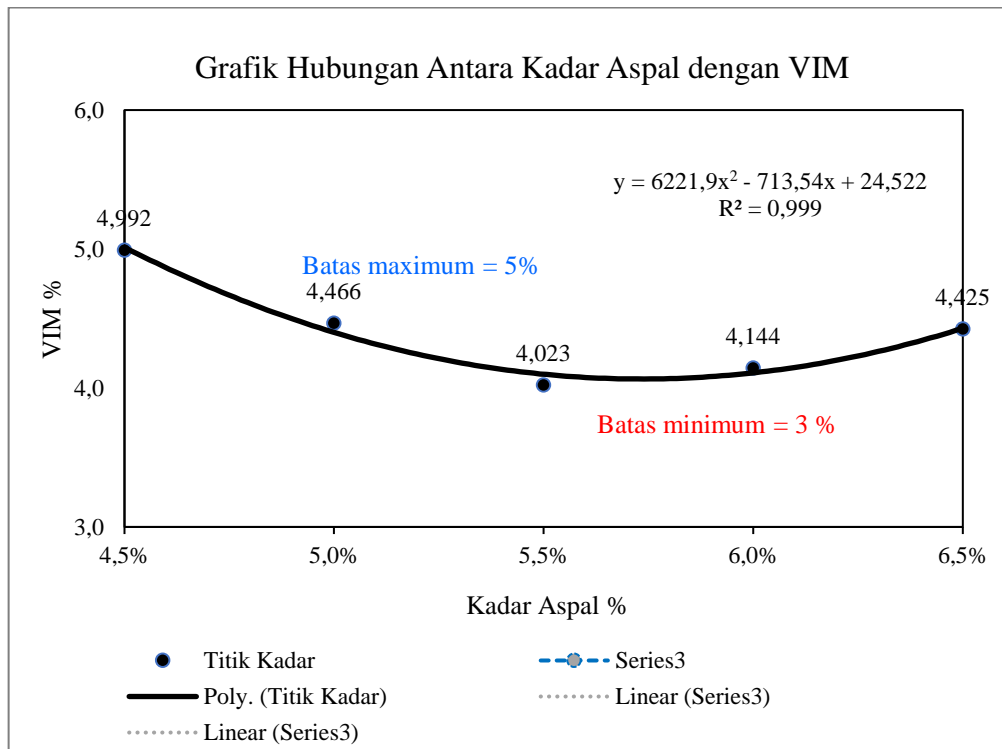
Gambar 5.3. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 30 Menit)



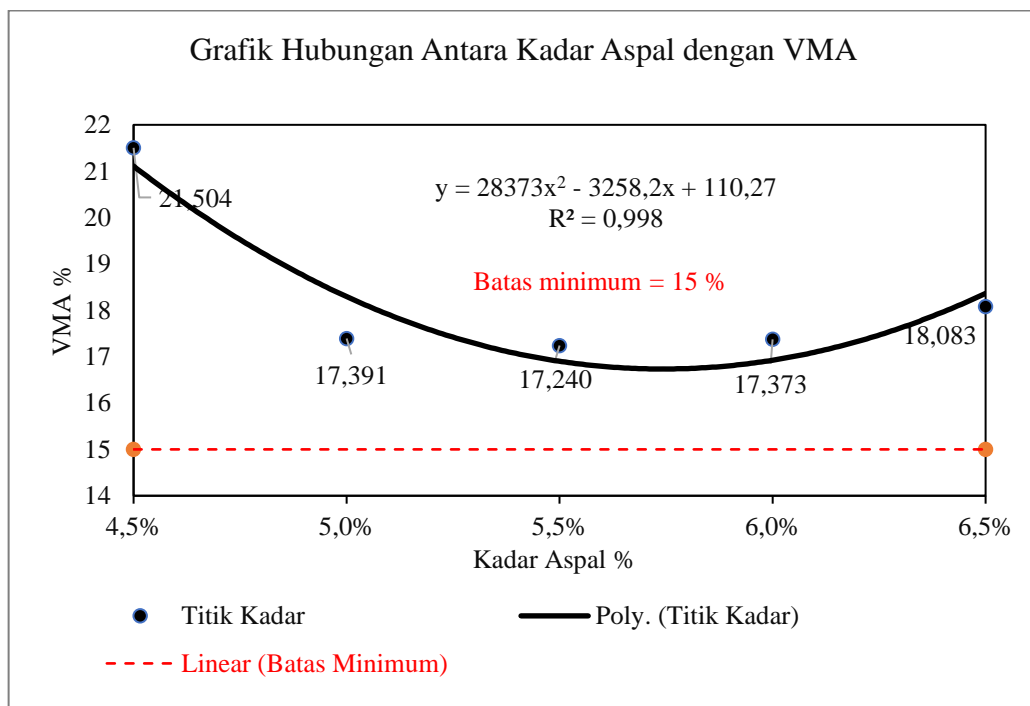
Gambar 5.4. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Flow (Perendaman 24 Jam)



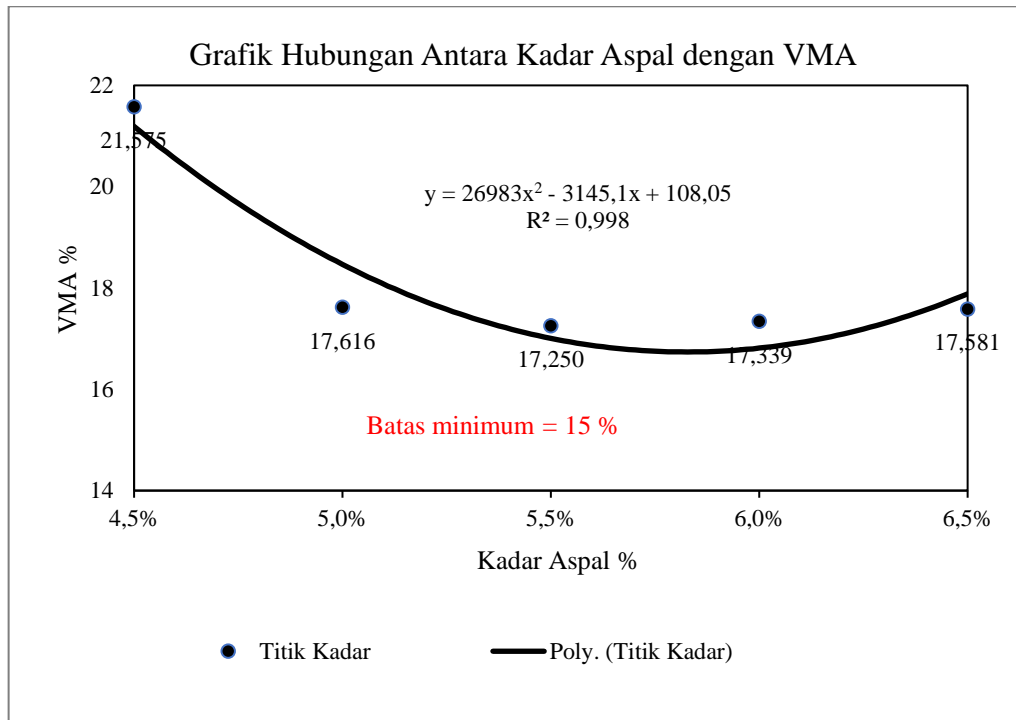
Gambar 5.5. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 30 Menit)



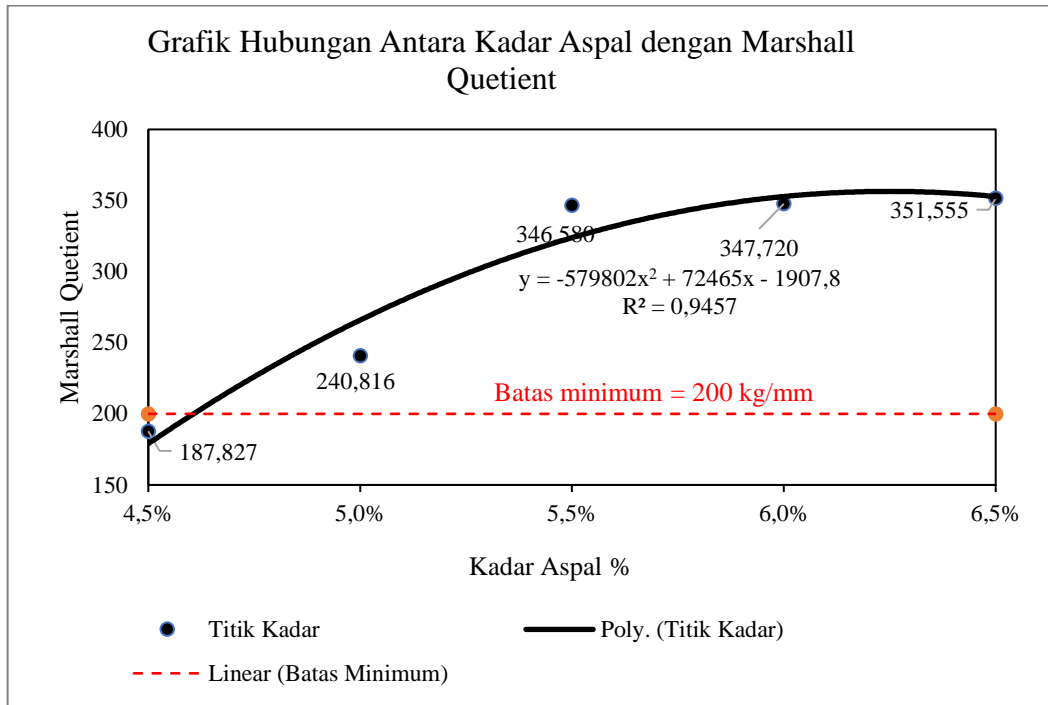
Gambar 5.6. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VIM (Perendaman 24 Jam)



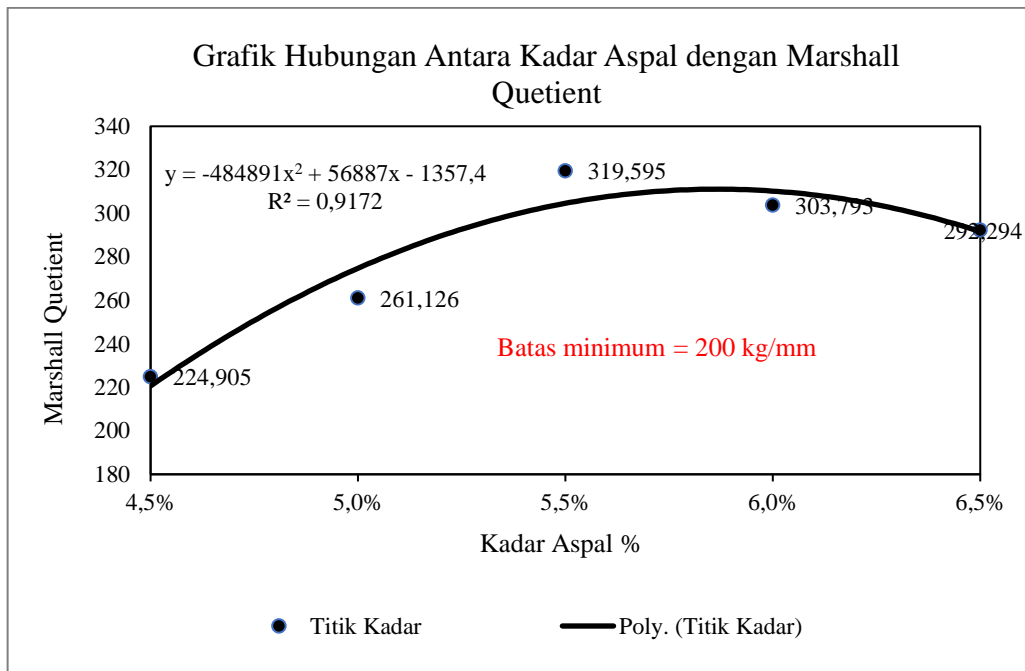
Gambar 5.7. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA



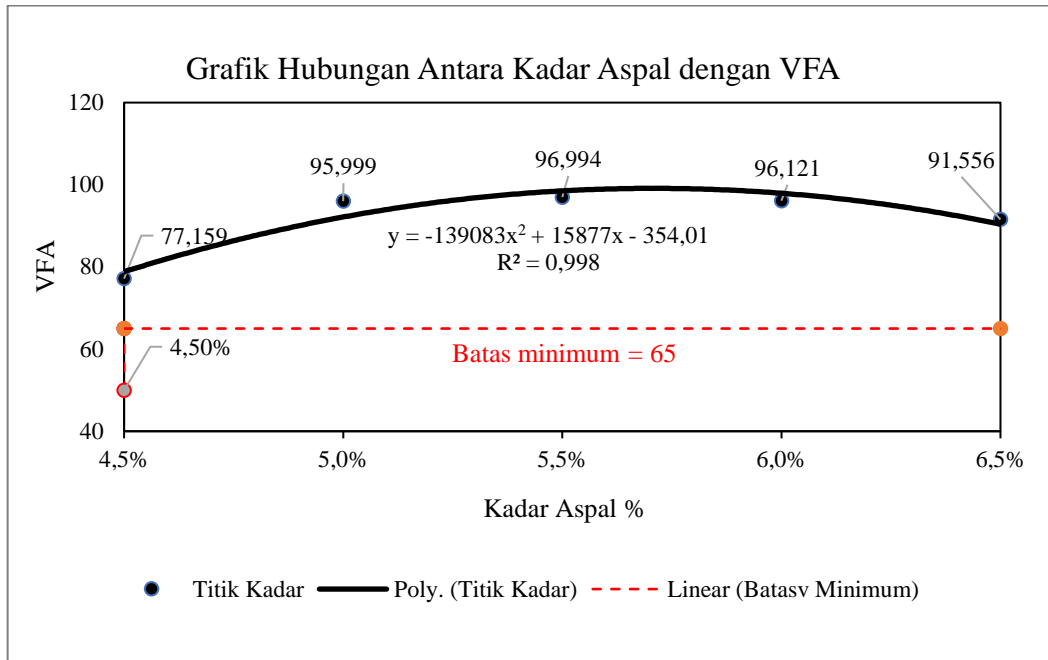
Gambar 5.8. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VMA (Perendaman 24 Jam)



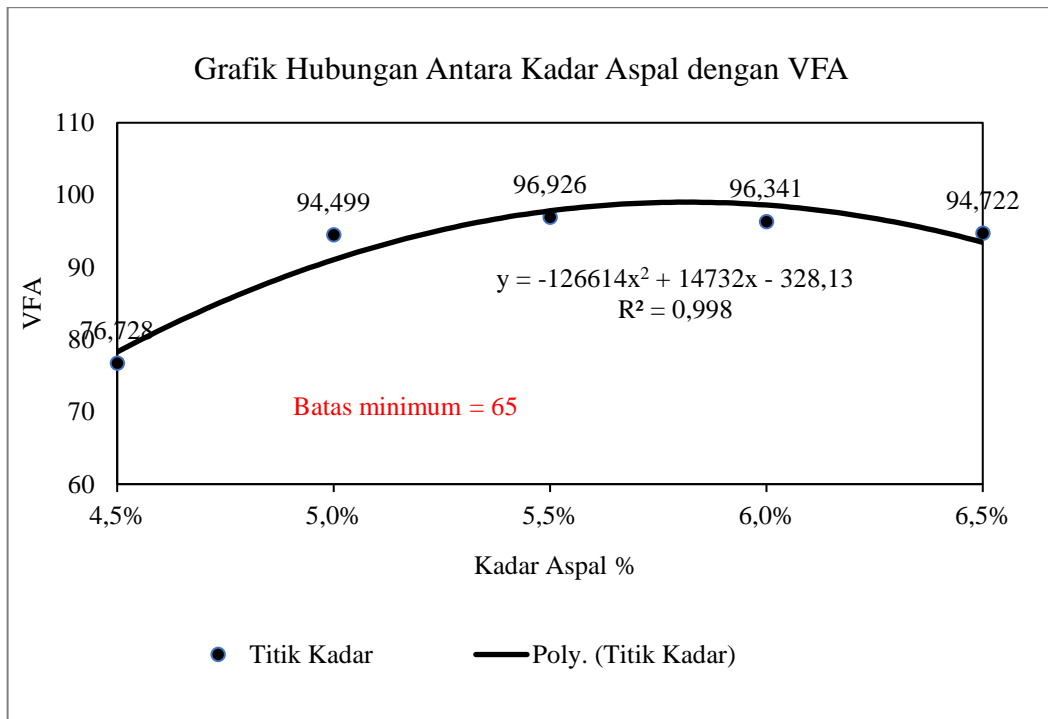
Gambar 5.9. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient



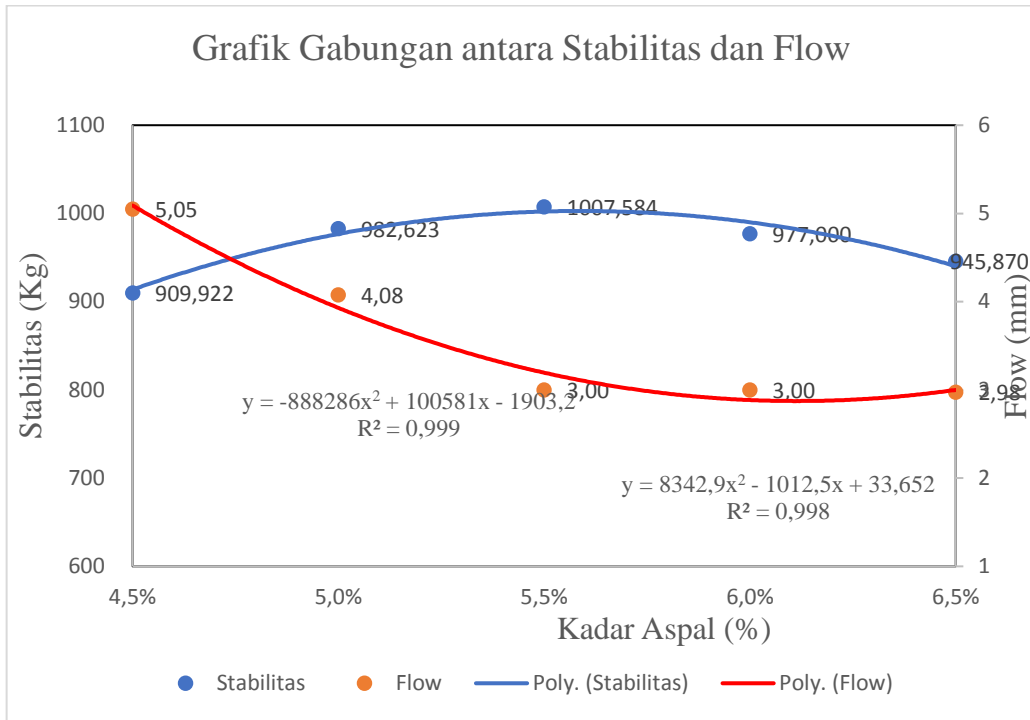
Gambar 5.10. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (Perendaman 24 Jam)



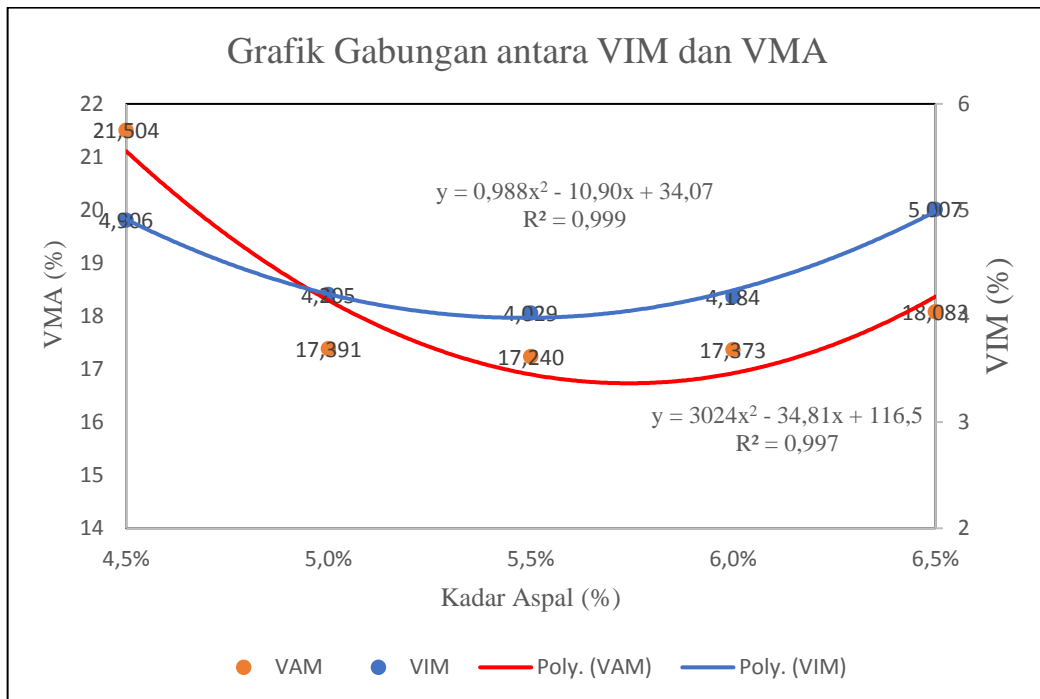
Gambar 5.11. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA



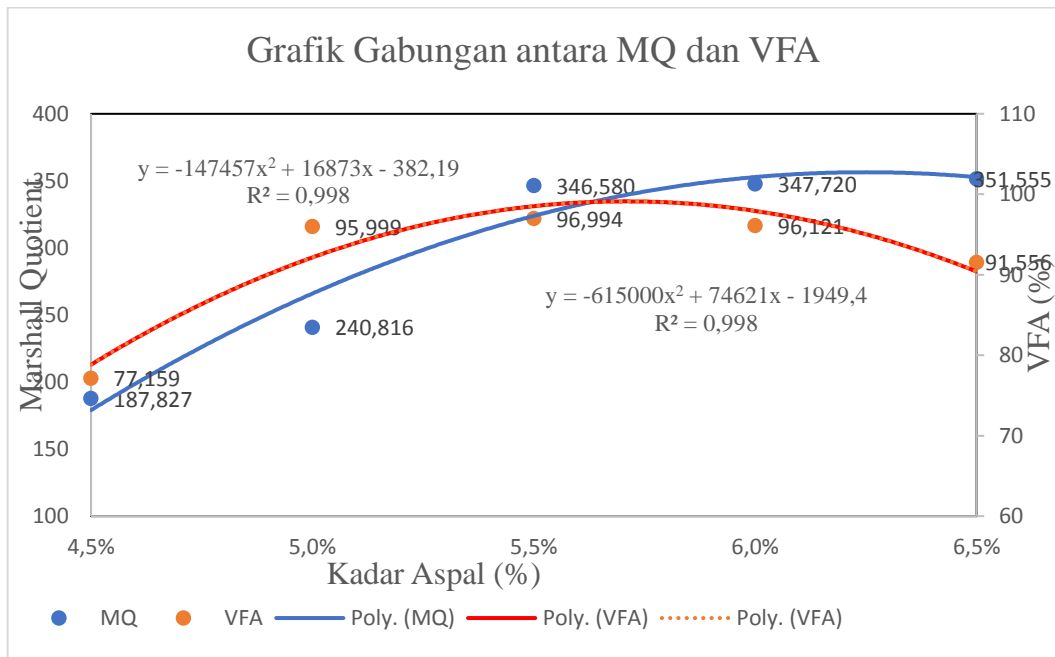
Gambar 5.12. Interval Kepercayaan Hubungan Antara Kadar Aspal dengan VFA (Perendaman 24 Jam)



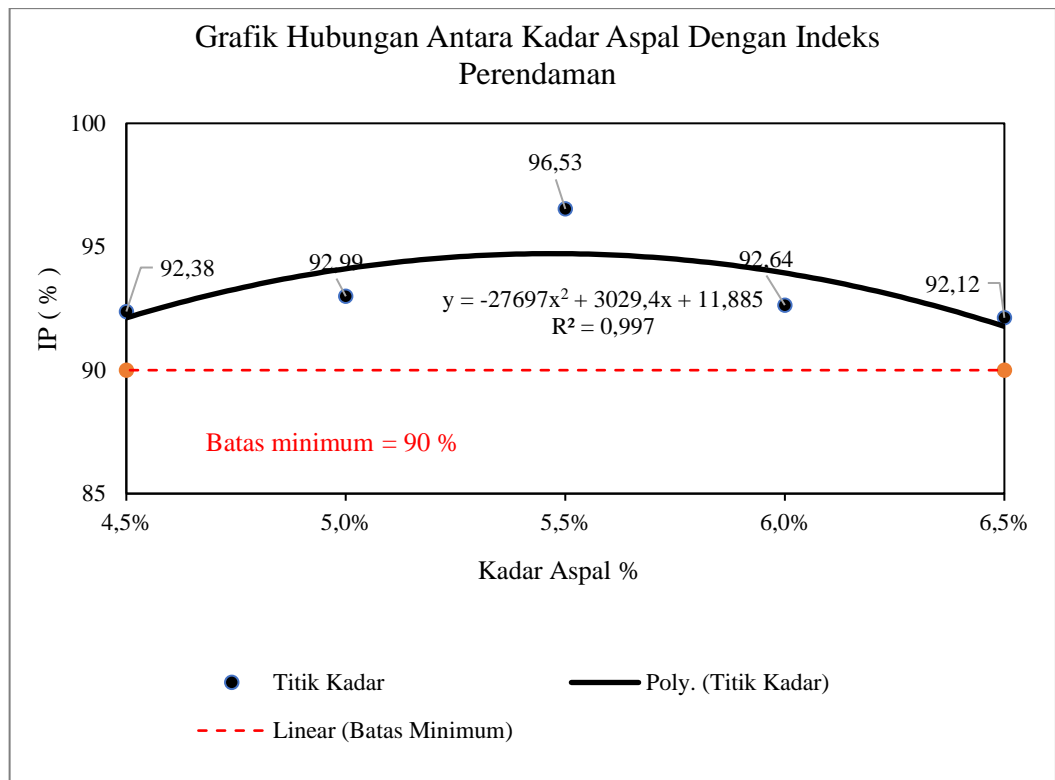
Gambar 5.13. Grafik Gabungan antara Stabilitas dan Flow



Gambar 5.14. Grafik Gabungan antara VIM dan VMA



Gambar 5.15. Grafik Gabungan antara Marshall Quotient dan VFA



Gambar 5.16. Grafik Gabungan antara Kadar Aspal IP

5.4 Pengujian Hipotesis

Untuk menguji hipotesis penelitian yang ada pada BAB I, maka dilakukan uji **Analisa Varian Satu Arah** dengan data yang telah disortir dengan interval kepercayaan, untuk melihat apakah ada perbedaan nilai parameter yang ditimbulkan oleh Kadar Aspal Optimum.

Sebagai contoh, dibawah ini adalah cara perhitungan analisa varian satu arah untuk stabilitas dengan kadar *Aspal*.

Tabel 5.38. Data Stabilitas dengan kadar Aspal (30 menit)

Kadar Aspal	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	Jumlah
Stabilitas	890,78	956,26	1043,13	926,67	774,73	4591,56
	908,31	907,88	1081,95	1074,78	926,56	4899,48
	867,22	952,01	998,69	815,04	849,40	4482,36
	861,37	976,63	1042,55	839,02	929,17	4648,74
Jumlah	3527,68	3792,78	4166,32	3655,51	3479,86	18622,15
Sampel lolos	4	4	4	4	4	20
Rata - rata	881,92	948,20	1041,58	913,88	869,96	931,11

Selanjutnya diperlukan :

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

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

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 :

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

Keterangan :

Y = Data – data pengamatan

n = banyak pengamatan

J = Jumlah dari data – data pengamatan

k = Variasi perlakuan

dari tabel 5.38 di atas selanjutnya dihitung :

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

$$\begin{aligned} \sum Y^2 &= (890,78)^2 + (908,31)^2 + \dots + (926,56)^2 + (849,40)^2 + (929,17)^2 \\ &= 17480049,23 \end{aligned}$$

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

$$R_y = \frac{18622,15^2}{20} = \frac{346784358,83}{20} = 17339217,94$$

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

$$\begin{aligned} P_y &= \left(\frac{3527,68^2}{4} + \frac{3792,78^2}{4} + \frac{4166,32^2}{4} + \frac{3655,51^2}{4} + \frac{3479,86^2}{4} \right) - 17339217,94 \\ &= 75805,01 \end{aligned}$$

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

$$E_y = 17480049,23 - 17339217,94 - 75805,01 = 65026,28$$

Setelah nilai – nilai di atas diperoleh maka disusunlah tabel analisa varian seperti di bawah ini :

Tabel 5.39 Tabel Analisa Varian Untuk Stabilitas

Sumber Variasi	dk	JK	KT
Rata-rata	1	17480049,23	17480049,2
Antar Perlakuan	4	75805,01	18951,2521
Dalam Perlakuan	16	65026,28	4064,14258
Jumlah	20		

Nilai F dapat dicari dengan rumus : $F = \frac{KT \text{ (antar perlakuan)}}{KT \text{ (dalam perlakuan)}}$

$$F_{hitung} = \frac{18951,2521}{4064,14258} = 4,663$$

Dalam tabel V pada buku Dasar-dasar Statistika (Riduwan; 272), nilai $F_{tabel} (0.05 ; 4 ; 16) = 3,055$. Jadi nilai $F_{hitung} = 4,663 > F_{tabel} = 3,055$. Berdasarkan data pada tabel diatas dapat diketahui apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_a pada parameter pengujian tersebut dapat diterima dan H_o ditolak.

Tabel 5.40 Tabel Analisa Varian Untuk Satu Arah

Parameter	Fhitung	</>	Ftabel	Kesimpulan
Stabilitas (kg)	4,66304	>	3,05556828	H_a diterima, Ada perbedaan
Flow (%)	7,52973684	>	3,17911705	H_a diterima, Ada perbedaan
VIM (%)	18,5858917	>	3,00691728	H_a diterima, Ada perbedaan
VMA (%)	292,683971	>	3,00691728	H_a diterima, Ada perbedaan
MQ (Kg/mm)	11,3298766	>	3,05556828	H_a diterima, Ada perbedaan
VFA	126,656115	>	3,00691728	H_a diterima, Ada perbedaan

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat diketahui apabila nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_a pada parameter pengujian tersebut dapat diterima dan H_o ditolak. Hal ini berarti bahwa terdapat pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai parameter pengujian pada campuran.

5.5 Analisis Regresi dan Pembahasan

5.5.1 Analisa Regresi

Untuk menganalisis hubungan tersebut, digunakan metode fungsi kuadrat (*Sudjana, 2002;338*) sebagai regresi, dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

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

Dengan persamaan perhitungan sebagai berikut :

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

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

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

Sebagai contoh, dibawah ini diambil data stabilitas pada pengujian durabilitas setelah dilakukan pengujian interval kepercayaan untuk diuji dengan analisa regresi. Dalam penelitian ini, nilai X yang digunakan adalah Kadar Aspal

Tabel 5.41. Daftar Nilai Yang Perlu Untuk Menentukan Regresi

No	x	y	y ²	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y
1	4,5	840,55	706532,54	20,2 5	91,12 5	410,062 5	3782,497 038	17021,2 37
2	5	913,77	834977,22	25	125	625	4568,85	22844,2 7
3	5,5	972,63	946013,34	30,2 5	166,3 75	915,062 5	5349,48	29422,1 2
4	6	905,06	819124,74	36	216	1296	5430,33	32581,9 8
5	6,5	840,67	706721,74	42,2 5	274,6 25	1785,06 25	5464,34	35518,2 0
Tot al	27, 5	4472,68 05	4013369,5 796	153, 75	873,1 25	5031,18 75	24595,50	137387, 81

Dari Tabel di atas, maka didapat persamaan :

$$4472,6805 = 5a + 27,5b + 153,75c$$

$$24595,497 = 20a + 120b + 800c$$

$$137387,815 = 153,75a + 873,125b + 5031,188c$$

Dari ketiga persamaan didapat nilai a, b dan c dengan bantuan *software Microsoft Mathematic* sebesar :

$$a = -114,756$$

$$b = 1260,62$$

$$c = 2510$$

Maka persamaannya adalah :

$$\check{Y} = -114,756x^2 + 1260,62x + 2510$$

Menacri koefisien determinasi (R^2) :

$$\begin{aligned} JK(b|a) &= \left(b \left\{ \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n} \right\} \right) + \left(c \left\{ \sum X^2Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n} \right\} \right) \\ &= \left(1260,62 \left\{ 24595,50 - \frac{27,5 \times 4472,68}{5} \right\} \right) + \left(-114,756 \left\{ 137387,81 - \frac{153,75 \times 4472,68}{5} \right\} \right) \end{aligned}$$

$$= -5351,765 + 16881,777$$

$$= 11530,012$$

$$\begin{aligned} JK(E) &= \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 4013369,579 - \frac{(4472,68)^2}{5} \end{aligned}$$

$$= 12395,425$$

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

$$= \frac{11530,012}{12395,425}$$

$$= 0.999$$

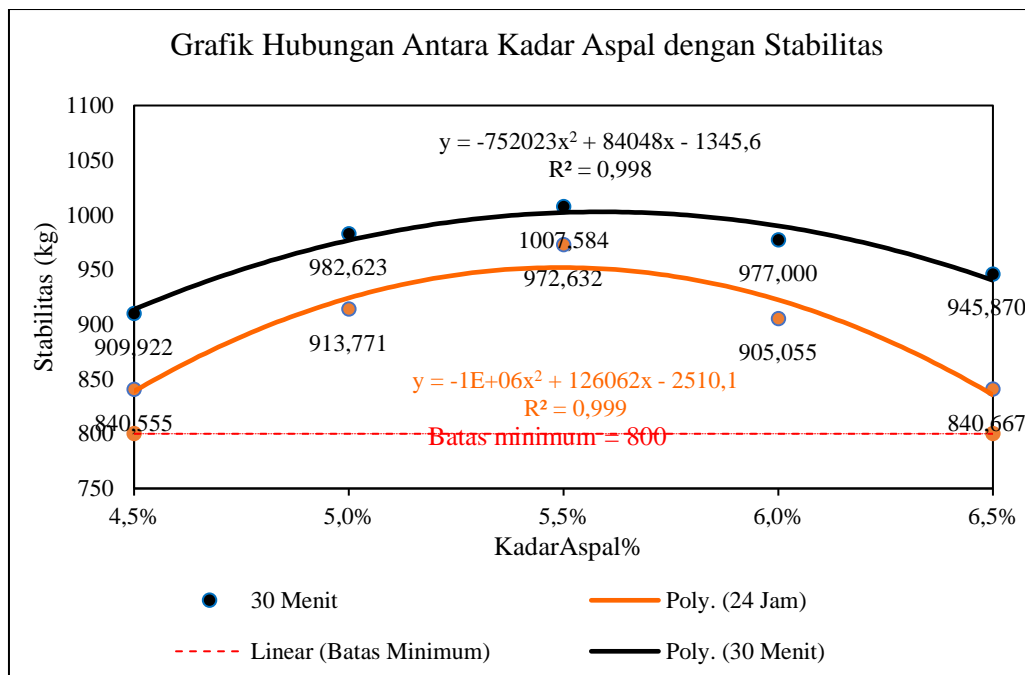
Sesuai dengan hasil analisa regresi secara manual, maka hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas menghasilkan persamaan $y = -114,756x^2 + 1260,62x + 2510$ dengan nilai koefisien determinan (R^2) sebesar **0.999**

5.5.2 Pembahasan

Dari pengujian analisa regresi, dapat dilihat dari grafik yang di atas dihasilkan dari titik-titik yang telah dihubungkan. Selain itu dapat juga dicari nilai optimum variasi Kadar Aspa. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat direkomendasikan hal-hal sebagai berikut.

a. Stabilitas

Terjadi peningkatan nilai stabilitas akibat penggunaan Batu piropilit sebagai agregat halus dan filler, Dengan cara penurunan fungsi kuadrat dapat diketahui nilai-nilai stabilitas.



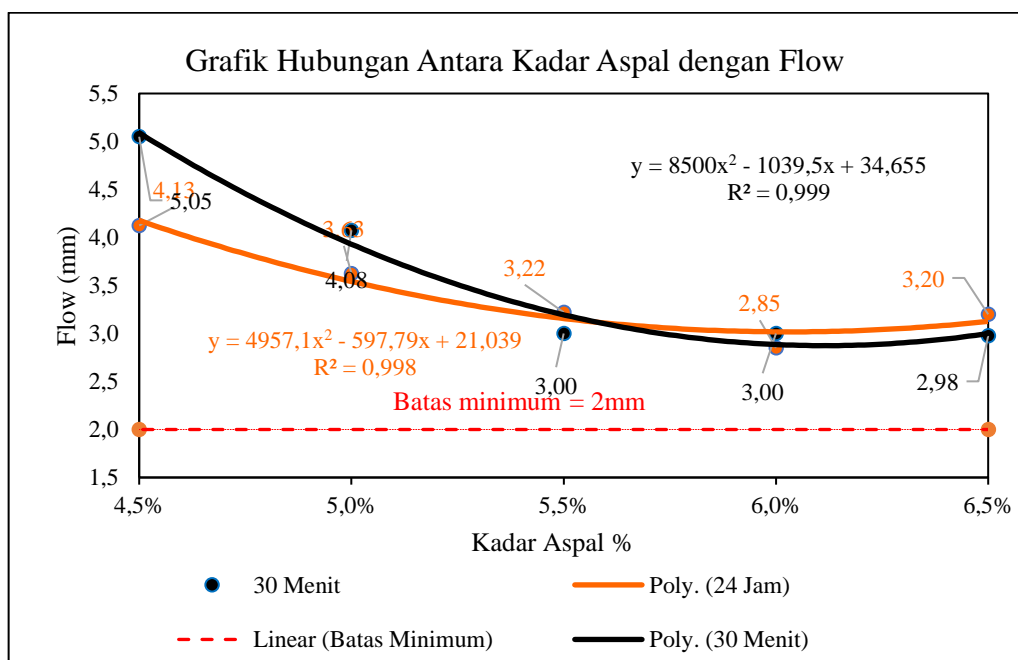
Gambar 5.17. Hubungan antara kadar aspal dengan Stabilitas

Dari uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan $F_{hitung} = 4,663$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,05557$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai Stabilitas. Dan dari hasil perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 7,52974$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,17912$, maka H_0

ditolak dan H_a diterima yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai Stabilitas.

Sedangkan dari analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai Stabilitas terhadap penggunaan batu piropilet $y = -75,202x^2 + 840,48x + 1345,6$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,999$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = -114,756x^2 + 1260,62x + 2510$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,999$

b. **Flow**



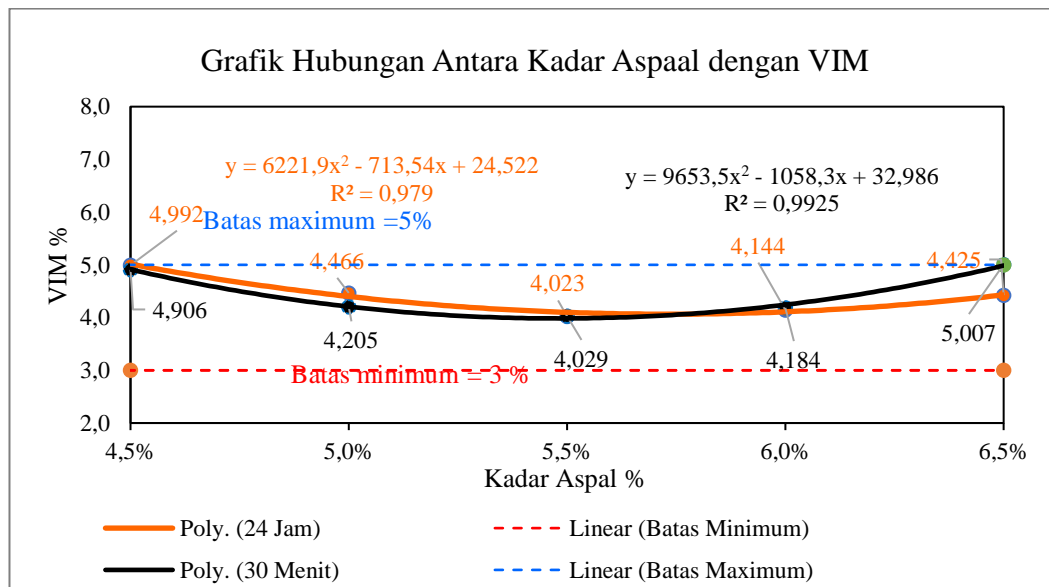
Gambar 5.18. Hubungan antara kadar aspal dengan Flow

Terjadi peningkatan nilai Flow akibat penggunaan batu piropilit. Peningkatan ini diakibatkan oleh batu piropilit yang memiliki sifat kaku dan mengikat, sehingga batu piropilit dapat mengumpal pada campuran agregat. Penggumpalan ini mengakibatkan kadar rongga semakin tinggi seiring penggunaan batu piropilit sehingga nilai Flow terjadi peningkatan.

Dari hasil uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan nilai $F_{hitung} = 7,52973$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,179117$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai Flow. Dan dari hasil uji hipotesis perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 4,723932$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,007$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai Flow.

Berdasarkan analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai Flow terhadap penggunaan batu piropilit $y = 8500x^2 - 1039x + 34,655$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,999$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = 4957,1x^2 + 597,79x + 21,039$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,998$.

c. VIM.



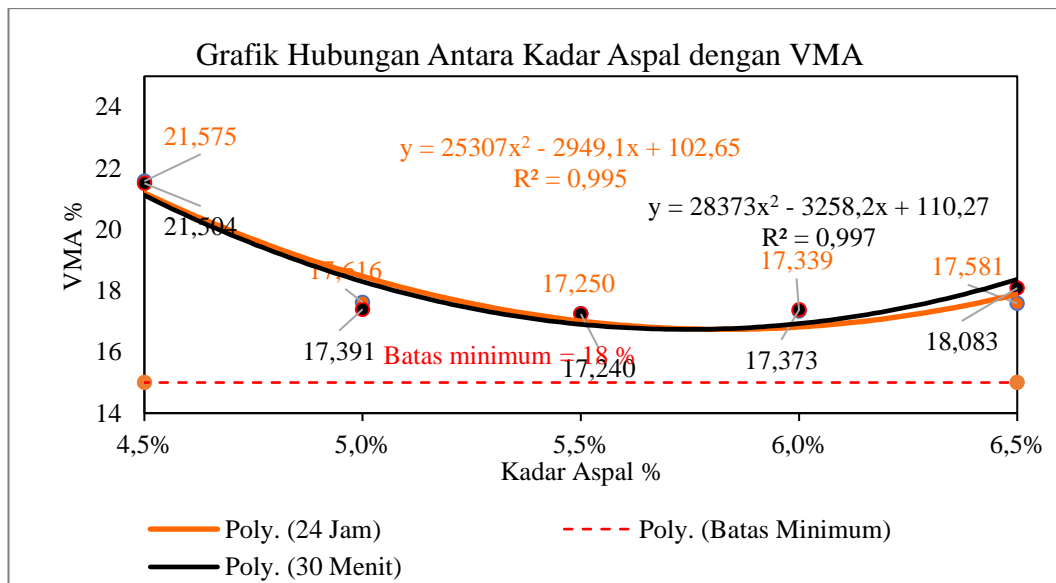
Gambar 5.19. Hubungan antara kadar aspal dengan VIM

Terjadi peningkatan nilai VIM akibat penggunaan batu piropilit. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya rongga dalam campuran (VIM) seiring penggunaan batu piropilit.

Dari hasil uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan nilai $F_{hitung} = 18,586$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,0069$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai VIM. Dan dari hasil uji hipotesis perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 26,654$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 2,928$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai VIM.

Berdasarkan analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai VIM terhadap penggunaan batu piropilit $y = 9653,5x^2 - 1058,3x + 32,986$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,993$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = 6221,9x^2 - 713,54x + 24,522$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,979$.

d. VMA



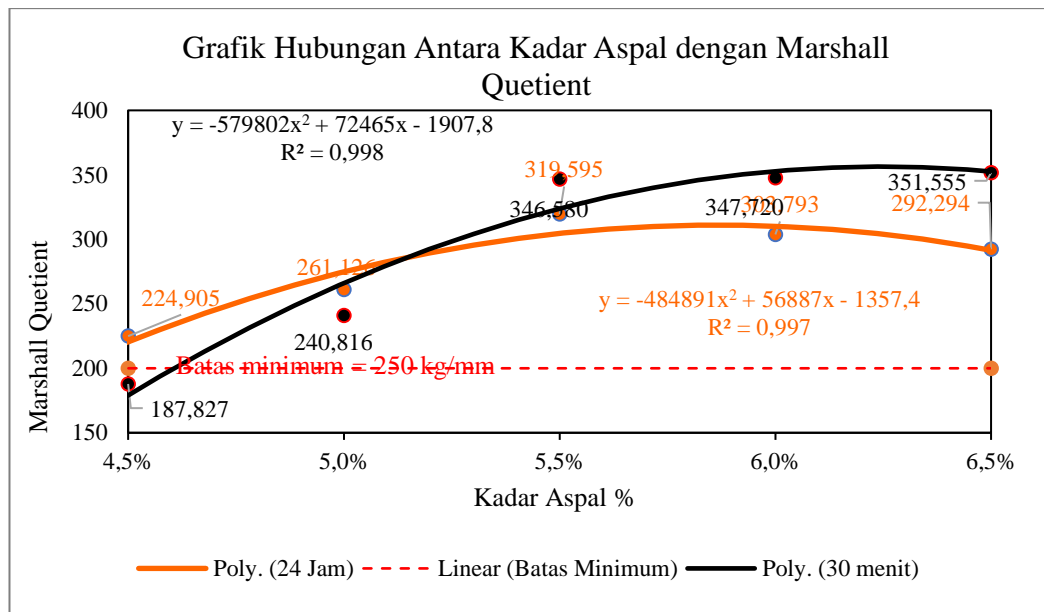
Gambar 5.20. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA

Terjadi peningkatan nilai VMA akibat penggunaan batu piropilit. Peningkatan nilai VMA disebabkan oleh penggunaan batu piropilit yang membuat rongga dalam material agregat (VMA) menjadi semakin besar.

Dari hasil uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan nilai $F_{hitung} = 292,684$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,00692$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai VMA. Dan dari hasil uji hipotesis perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 722,274$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 2,965$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai VMA.

Berdasarkan analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai VMA terhadap variasi kadar aspal pada penggunaan batu piropilit $y = 28373x^2 - 3258,2x + 110,27$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,997$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = 25307x^2 - 2949,1x + 102,65$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,995$.

e. Marshall Quotient



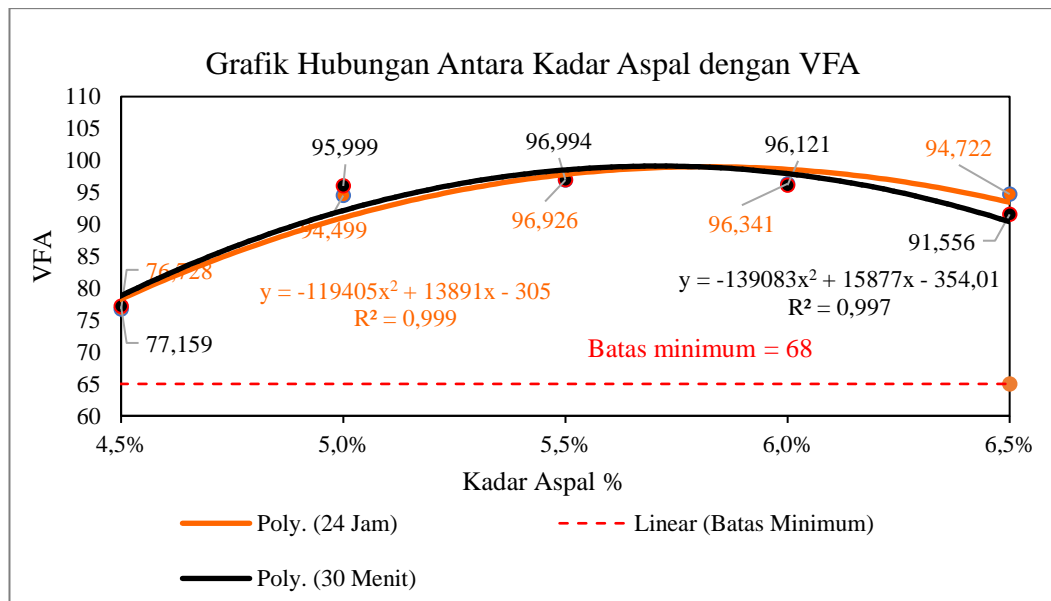
Gambar 5.21. Hubungan antara kadar aspal dengan MQ

Terjadi penurunan nilai MQ akibat penggunaan batu piropili. MQ (Marshall Quotient) adalah rasio perbandingan dari stabilitas dengan flow. Semakin jauh perbedaan nilai stabilitas dan flow, maka semakin tinggi pulanilai MQ.

Dari hasil uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan nilai $F_{hitung} = 11,329$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,056$ maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh variasi kadar aspal pada penggunaan batu piropilit terhadap nilai MQ. Dan dari hasil uji hipotesis perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 3,839$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3,007$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai MQ.

Berdasarkan analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai MQ terhadap variasi kadar aspal pada penggunaan batu piropilit $y = -579802x^2 + 72465x - 1907,8$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,998$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = -484891x^2 + 56887x - 1357,4$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,997$.

f. VFA



Gambar 5.22. Hubungan antara kadar aspal dengan VFA

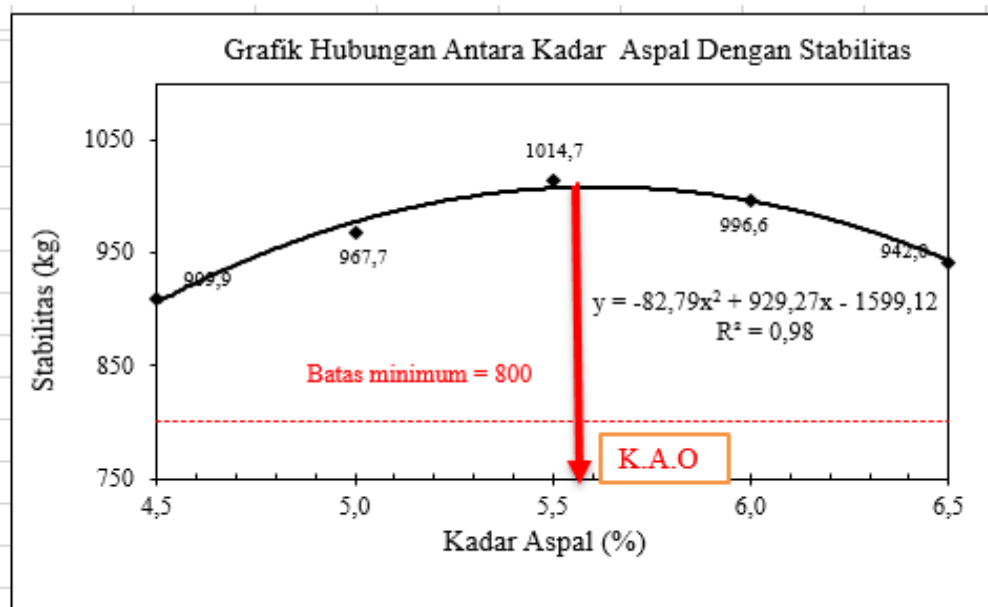
Terjadi penurunan nilai VFA akibat penggunaan batu piropilit. Penurunan prosentase rongga terisi aspal (VFA) disebabkan karena penggunaan batu piropilit kurang tercampur dengan baik dan menggumpal dalam campuran sehingga prosentase VFA semakin kecil.

Dari hasil uji hipotesis perendaman 30 menit didapatkan nilai $F_{hitung} = 126,656$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 3.007$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh variasi kadar aspal pada penggunaan batu piropilit terhadap nilai VFA. Dan dari hasil uji hipotesis perendaman 24 jam didapatkan $F_{hitung} = 377,309$ yang lebih besar dari $F_{tabel} = 2,965$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, yaitu ada pengaruh penggunaan batu piropilit terhadap nilai VFA.

Berdasarkan analisa regresi perendaman 30 menit didapatkan persamaan linier nilai MQ terhadap variasi kadar aspal pada penggunaan batu piropilit $y = -139083x^2 + 15877x - 354,01$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,997$. Dan analisa regresi perendaman 24 jam didapatkan persamaan $y = -119405x^2 + 13891x + 305$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,999$.

5.5.3 Kadar Aspal Optimum

Dari serangkaian analisa data yang dilakukan, kemudian dibuat puncak Stabilitas untuk menentukan kadar optimum. Di bawah ini adalah Stabilitas dari data penelitian ini.



Gambar 5.23. Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC

Dari hasil analisa dari persamaan , untuk menentukan kadar Aspal Optimum digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$a = -82,79x^2$$

$$b = 929,27x$$

$$c = -1599,12$$

$$y = ax^2 + bx^1 + cx^0$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$d = \left(\frac{-82,79x^2 + 929,27x - 1599,12}{dx} \right) = 0$$

$$-165,58x + 929,27x - 0 = 0$$

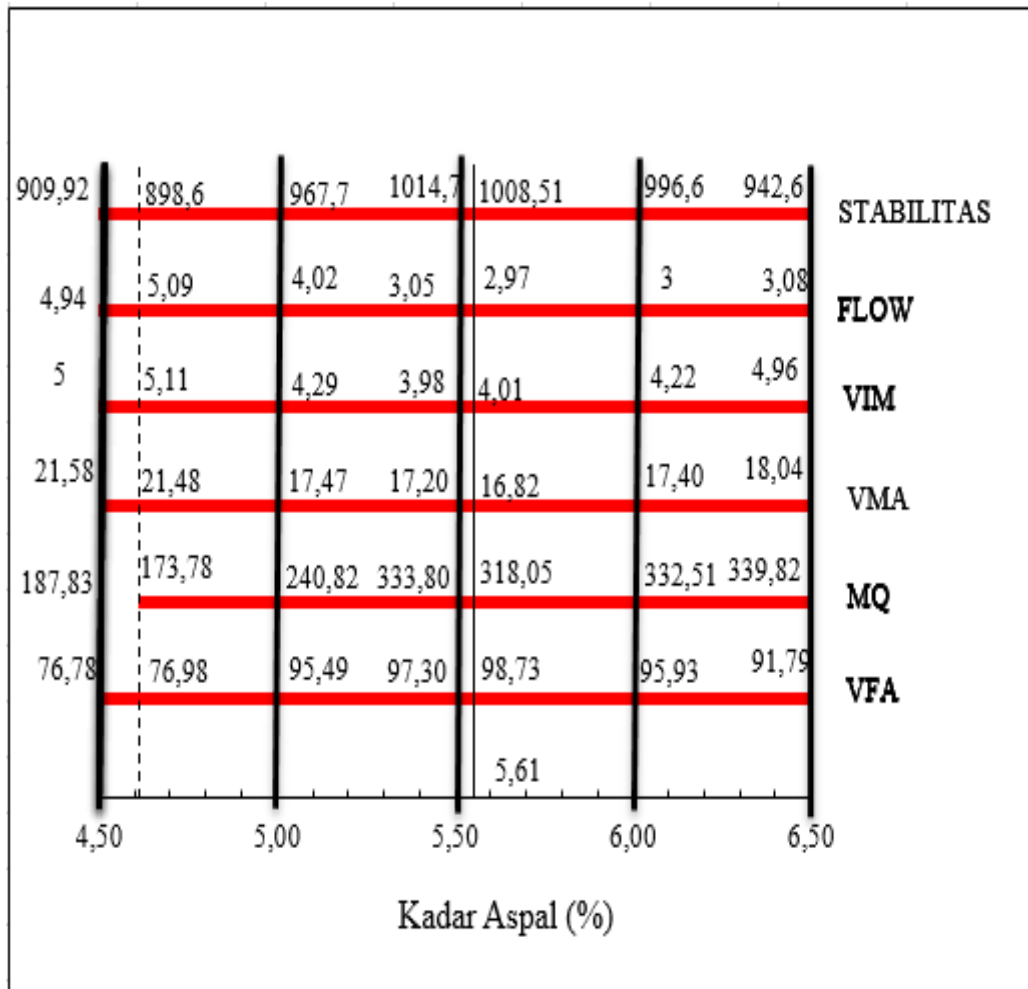
$$-165,58x = -929,27$$

$$x = \frac{-929,27}{-165,58}$$

$$x = 5,61$$

Nilai kadar Kadar Aspal optimum yang dihasilkan adalah 5,61 %. Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran (AC-WC).

Dari serangkaian analisa data yang dilakukan, kemudian dibuat diagram batang untuk menentukan kadar optimum. Di bawah ini adalah diagram batang dari data penelitian ini.



Gambar 5.24. Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC

Nilai kadar Kadar Aspal optimum yang dihasilkan adalah 5,61%. Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran (AC-WC).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data-data penelitian, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Proporsi penggunaan Batu Piropilite sebagai agregat halus dan filler pada campuran AC-WC pada kadar aspal optimum 5,61% didapatkan kadar optimum sebesar 4,61% dari berat aspal.
2. Batu piropilit sebagai agregat halus dan filer dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal AC-WC, dengan karakteristik sebagai berikut :

Tabel 6.1.Nilai Optimum Berdasarkan Parameter Pengujian

Parameter	Nilai	Syarat	
		Min	Max
Stabilitas (kg)	943,152	800	-
Flow (%)	3,15	2	-
VIM (%)	4,009	3	5
VMA (%)	16,439	15	-
MQ (Kg/mm)	298,995	200	-
VFA	99,750	65	-
IP	94,698	90	-

6.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan beban lalu lintas di lapangan atau menggunakan jenis perkerasan lentur yang lain.
2. Untuk penelitian selanjutnya,sebaiknya metodi dan spesifikasi campuran AC-WC yang baru.

LAMPIRAN HASIL UJI BAHAN

DOKUMENTASI







