

TESIS

**“PENGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) DALAM
STRUKTUR PERKERASAN AC-WC”**



OLEH:

CHRISTIAN SAMPE LAWANG S.T.

NIM: D012231061

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2025

TESIS

PENGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) DALAM STRUKTUR PERKERASAN AC-WC

**CHRISTIAN SAMPE LAWANG S.T.
D012231061**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Februari 2025 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim., ST., MT
NIP. 197204242000122001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty., ST., MT
NIP. 197206192000122001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM, AER
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng., PM, IPM
NIP. 197303061998021001

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus yang telah memberikan kasih karunia dan kesempatannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Penyusunan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi serangkaian tugas–tugas akademis yang merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi magister pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam tesis ini, penulis mengangkat judul : “ **Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) pada Perkerasan AC-WC**” yang masih berkaitan erat dengan bidang transportasi. Kami menyadari Tesis ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya dukungan dari pihak lain. Oleh sebab itu, kami menyampaikan penghargaan sangat tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM, ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim., ST., MT selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty., ST., MT selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
6. Serta seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Rekan-rekan tenaga laboratorium PT. Bumi Karsa yang telah membantu dalam proses penelitian.
8. Orang Tua Tercinta, istri dan anak-anak yang terus memberikan kasih dan dukungan untuk menyelesaikan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengalaman dan pengetahuan penulis. Oleh karena penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang transportasi.

Gowa, 10 Februari 2025

Penulis

ABSTRAK

SL, Christian¹., Hustim Muralia²., Irmawaty Rita³

¹. Mahasiswa Universitas Hasanuddin

². Dosen Pembimbing Utama

³. Dosen Pembimbing Kedua

christian.slawang@kalla.co.id

Mengingat pentingnya peran jalan dan keterbatasan pemerintah dalam membiayai penanganannya, serta penurunan ketersediaan agregat standar dan terbatasnya aspal, pemanfaatan bahan sisa dan bahan limbah seperti *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menjadi alternatif. Menurut Kementerian PUPR dalam artikel “Pemanfaatan Teknologi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang untuk Pemeliharaan Jalan” tahun 2021, campuran beraspal panas daur ulang dapat mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru, serta mereduksi biaya campuran beraspal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC, Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal AC-WC menggunakan RAP dan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) pada campuran AC-WC. Penelitian ini dimulai dengan pemeriksaan material, pemeriksaan material dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan pada penelitian. Penelitian ini dilakukan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Penentuan komposisi agregat dilakukan dengan menggunakan hasil saringan yang didapatkan dari tiap-tiap agregat yang kemudian dilakukan proses *Trial and error*. Perencanaan kadar aspal rencana dapat dilakukan setelah menetapkan komposisi agregat yang direncanakan untuk campuran aspal beton.

Kata kunci: Marshall quotient, AC-WC, RAP, Asphalt pavement

ABSTRACT

Christian SL¹, Muralia Hustim², Rita Irmawaty³

¹ Master Course Student of Civil Engineering, Hasanuddin University, Indonesia

² Department of Environmental Engineering, Hasanuddin University, Indonesia

³ Department of Civil Engineering, Hasanuddin University, Indonesia

christian.slawang@kalla.co.id

Considering the important role of roads, the government's limitations in financing their handling, and the reduced availability of standard aggregates and limited asphalt, the utilization of residual materials and waste materials such as Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) was an alternative. This research aimed to determine the maximum RAP level in the AC-WC mixture, the Optimum Asphalt Level (OAL) of the AC-WC asphalt mixture using RAP, and the residual strength index (RSI) value of the AC-WC mixture. This research begins with material testing, which was carried out to determine the characteristics of the materials that will be used in this research. This research was conducted in accordance with the 2018 General Bina Marga Specifications. Determination of aggregate composition was carried out using the filter results obtained from each aggregate which is then carried out in a trial-and-error process. The asphalt content can be planned after determining the aggregate composition of the asphalt concrete mixture.

Keywords: Marshall quotient, AC-WC, RAP, Asphalt pavement

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6. Batasan Penelitian.....	3
1.7. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Perkerasan Lentur (<i>flexible pavement</i>).....	5
2.2. Lapis Aspal Beton.....	5
2.2.1 <i>Asphalt Concrete -Wearing Couse (AC-WC)</i>	5
2.2.2 Bahan Penyusun <i>Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)</i>	6
2.2.3 Kadar Aspal Rencana.....	11
2.2.4 Parameter Marshall	11
2.3. Material Daur Ulang (<i>Reclaimed Asphalt Pavement/RAP</i>).....	15
2.4. Penelitian Terdahulu	17
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Lokasi Penelitian	21

3.2.	Diagram Alir Penelitian	21
3.3.	Prosedur Penelitian	22
3.3.1.	Pemeriksaan Material.....	23
3.3.2.	Metode Kombinasi Campuran	23
3.4.	Alat Dan Bahan.....	25
3.4.1.	Alat yang digunakan	25
3.4.2.	Bahan yang digunakan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Umum.....	27
4.2	Hasil pengujian Material	27
4.3	Hasil pengujian Aspal.....	28
4.4	Hasil pengujian Analisa Saringan.....	28
4.5	Rancangan Campuran.....	32
4.6	Hasil Penentuan Kadar Aspal Rencana	35
4.7	Campuran benda uji.....	35
4.8	Perhitungan Benda Uji Marshall	37
4.9	Hasil parameter uji Marshall pada campuran AC-WC dengan menggunakan RAP.....	55
4.10	Hubungan RAP terhadap stabilitas	55
4.11	Hubungan RAP terhadap flow	56
4.12	Hubungan RAP terhadap VIM.....	56
4.13	Hubungan RAP terhadap VMA	57
4.14	Hubungan RAP terhadap VFA	58
4.15	Hubungan RAP terhadap MQ.....	58
4.16	Hubungan RAP terhadap kadar aspal optimum	59
4.17	Nilai Indeks Kekuatan Sisa.....	60
4.18	Analisa Harga Satuan Pekerjaan AC-WC.....	61
4.18.1	Harga Satuan Material dan Peralatan	61

4.18.2.	Data-data Dasar	61
4.18.3.	Analisa Koefisien	62
4.18.4.	Analisa Harga Satuan	65
BAB V PENUTUP		68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2.	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC-WC.....	6
Tabel 2. 2 Spesifikasi aspal.....	7
Tabel 2. 3 Karakteristik agregat kasar	8
Tabel 2. 4 Spesifikasi agregat halus.....	8
Tabel 2. 5 Gradasi agregat gabungan campuran AC-WC.....	9
Tabel 2. 6 Gradasi dan berat benda uji.....	9
Tabel 2. 7 Spesifikasi bahan pengisi (filler).....	11
Tabel 2. 8 Daftar angka koreksi benda uji	12
Tabel 2. 9 Penelitian sebelumnya	17
Tabel 3. 1 Pemeriksaan Material.....	23
Tabel 3. 2 Sampel KAO.....	24
Tabel 3. 3 Sampel Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	24
Tabel 3. 4 Daftar Alat	25
Tabel 3. 5 Daftar Bahan	26
Tabel 4. 1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar.	27
Tabel 4. 2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus.	27
Tabel 4. 3 Rekapitulasi hasil pengujian keausan agregat (Abrasi).....	27
Tabel 4. 4 Rekapitulasi hasil pengujian aspal.....	28
Tabel 4. 5 Hasil pengujian Analisa Saringan Batu 1-2	28
Tabel 4. 6 Hasil pengujian Analisa saringan chipping.....	29
Tabel 4. 7 Hasil pengujian Analisa saringan Abu batu	30
Tabel 4. 8 Hasil pengujian Analisa saringan filler semen	31
Tabel 4. 9 Analisa Saringan Gradasi Agregat.....	33
Tabel 4. 10 Grafik analisa saringan gabungan AC-WC.....	34
Tabel 4. 11 Berat aspal dan agregat	35
Tabel 4. 12 Berat aspal dan agregat + RAP 30%.....	36
Tabel 4. 13 Berat aspal dan agregat + RAP 35%.....	36
Tabel 4. 14 Berat aspal dan agregat + RAP 40%.....	36
Tabel 4. 15 Data benda uji Marshall	37
Tabel 4. 16 Berat jenis dan aspal	37
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Marshall RAP 30%.....	40
Tabel 4. 18 Hasil pengujian marshall RAP 35%.....	45
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Marshall RAP 40%.....	50

Tabel 4. 20 Nilai karakteristik campuran AC-WC.....	55
Tabel 4. 21 Nilai Indeks Kekuatan Sisa	60
Tabel 4. 22 Harga satuan material	61
Tabel 4. 23 Harga satuan peralatan	61
Tabel 4. 24 Analisa Harga Satuan AC-WC (tanpa RAP)	65
Tabel 4. 25 Analisa Harga Satuan AC-WC (tanpa RAP)	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses pengelupasan jalan yang rusak.....	2
Gambar 2. 1 Lapisan permukaan yang tersusun dengan aspal	5
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 4. 1 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density	41
Gambar 4. 2 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas	41
Gambar 4. 3 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow	42
Gambar 4. 4 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ.....	42
Gambar 4. 5 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM	43
Gambar 4. 6 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA.....	43
Gambar 4. 7 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA	44
Gambar 4. 8 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 30% AC-WC.....	44
Gambar 4. 9 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density	46
Gambar 4. 10 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas	46
Gambar 4. 11 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow	47
Gambar 4. 12 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ.....	47
Gambar 4. 13 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM	48
Gambar 4. 14 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA	48
Gambar 4. 15 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA	49
Gambar 4. 16 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 35% AC-WC.....	49
Gambar 4. 17 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density	51
Gambar 4. 18 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas	51
Gambar 4. 19 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow	52
Gambar 4. 20 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ.....	52
Gambar 4. 21 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM	53
Gambar 4. 22 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA	53
Gambar 4. 23 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA	54
Gambar 4. 24 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 40% AC-WC.....	54
Gambar 4. 25 Grafik hubungan Stabilitas dengan variasi RAP	55
Gambar 4. 26 Grafik hubungan Flow dengan variasi RAP	56
Gambar 4. 27 Grafik hubungan VIM dengan variasi RAP	57
Gambar 4. 28 Grafik hubungan VMA dengan variasi RAP.....	57
Gambar 4. 29 Grafik hubungan VFA dengan variasi RAP	58
Gambar 4. 30 Grafik hubungan MQ dengan variasi RAP	59

Gambar 4. 31 Grafik hubungan KAO dengan variasi RAP	60
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan adalah sarana transportasi yang menghubungkan dua tempat atau lebih. Jalan memegang peran penting dalam mendukung pertumbuhan sosial ekonomi dan memperlancar pembangunan suatu daerah, yang pada gilirannya meningkatkan taraf hidup masyarakat. Namun, penggunaan jalan yang berkelanjutan dapat menyebabkan kerusakan pada jalan itu sendiri, yang dapat membahayakan pengguna jalan. Oleh karena itu, rehabilitasi jalan menjadi penting untuk memperpanjang umur rencana jalan dan memberikan kenyamanan serta kelancaran bagi pengguna jalan.

Menyadari pentingnya peran jalan dan keterbatasan pemerintah dalam membiayai penanganan jalan, penurunan ketersediaan agregat standar dan terbatasnya aspal, maka salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan penggunaan bahan sisa dan bahan limbah, yaitu berupa bahan garukan dari perkerasan beraspal yang diperbaiki (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP).

Rehabilitasi dengan proses daur ulang menggunakan RAP akan menghasilkan bahan campuran yang nilai strukturnya dapat setara dengan campuran yang baru jika menggunakan bahan peremaja yang sesuai dan diproses serta ditunjang dengan peralatan yang memadai. Sehingga penggunaan daur ulang aspal ini, diharapkan mampu mengatasi kerusakan jalan yang terjadi dan meningkatkan mutu jalan. Kementerian PUPR dalam artikel “Pemanfaatan Teknologi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang untuk Pemeliharaan Jalan” tahun 2021 menyatakan bahwa Campuran beraspal panas daur ulang akan mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru, terutama bagi daerah yang agregat baru yang memenuhi spesifikasi terbatas sehingga harus mendatangkan dari daerah (pulau) lain, serta akan mereduksi biaya campuran beraspal. Kinerja campuran beraspal panas daur ulang (ACWCRAAP dan LTBARAP) sampai bulan Agustus tahun 2020 (umur 2 tahun) masih dalam kondisi baik, tidak dijumpai kerusakan retak dan kedalaman alur masih dibawah 10 mm.

Namun, ada beberapa kendala dalam penggunaan material daur ulang ini, terutama dalam hal sifat fisik material yang telah menerima beban lalu lintas yang cukup berat selama masa layanannya. Karena material lama tidak sekuat aspal baru, diperlukan upaya untuk meningkatkan kekuatan fisik material tersebut. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Try Andilla (2018), Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dengan variasi 35%, 55%, dan 60% memiliki kesesuaian dalam pembangunan perkerasan AC-WC, dan yang paling

cocok adalah Reclaimed Asphalt Pavement 35%. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan RAP untuk lapis perkerasan dengan beberapa variasi substitusi RAP yang diperoleh dari hasil pengelupasan perkerasan jalan di beberapa titik yang berlokasi di STA 3+400 jalan Simpang 3 Lempake - Simpang 3 Sambera dan Santan (seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.1).

Perkerasan yang ada di jalan Simpang 3 Lempake - Simpang 3 Sambera dan Santan menggunakan lapis perkerasan AC-WC. Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga akan dirancang lapis perkerasan AC-WC dengan substitusi RAP terhadap agregat baru. Dengan menggunakan RAP sebagai bahan campuran perkerasan jalan yang baru, diharapkan dapat menghemat energi, melindungi kestabilan lingkungan, dan mengurangi biaya rekonstruksi.



Gambar 1. 1 Proses pengelupasan jalan yang rusak

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC?
2. Berapa kadar aspal optimum (KAO) campuran aspal AC-WC menggunakan RAP?
3. Bagaimana nilai Indek Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran AC-WC dengan substitusi RAP?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC
2. Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal AC-WC menggunakan RAP;

3. Mengevaluasi nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran AC-WC dengan substitusi RAP.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif untuk menggunakan limbah sisa pengerukan aspal serta mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Memberikan inovasi bahan yang digunakan dalam pembangunan di Indonesia, khususnya wilayah Kalimantan.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian menetapkan ruang lingkup pada:

1. Penelitian dilakukan pada Proyek Preservasi Jalan SP. 3 Lempake – SP.3 Sambera – Santan di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.
2. Pengujian laboratorium dilakukan di laboratorium proyek Preservasi Jalan SP.3 Lempake – SP.3 Sambera – Santan
3. Komposisi agregat ditentukan melalui pengujian saringan dan proses uji coba hingga mencapai spesifikasi gradasi AC-WC sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

1.6. Batasan Penelitian

Beberapa jenis Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis campuran beraspal yang digunakan adalah campuran beraspal dengan gradasi menerus jenis AC-WC. Kriteria yang digunakan dalam penentuan kinerja campuran beraspal mengacu pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018.
2. Komposisi material daur ulang (RAP) yang digunakan adalah 30%, 35% dan 40%. Sedangkan variasi kadar aspal yang digunakan adalah Pb-1%, Pb-0,05%, Pb%, Pb+0,5%, Pb+1%.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tesis ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

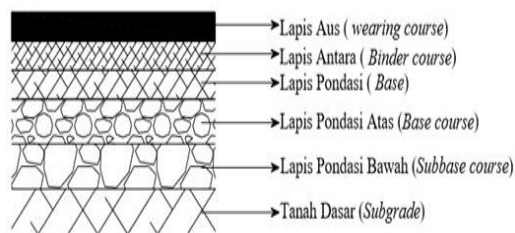
Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur adalah perkerasan ini umumnya menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapis permukaannya tersusun dengan campuran aspal, serta bahan berbutir sebagai lapisan bawahnya, sebelum digunakan aspal dipanaskan pada suhu tertentu samapi menjadi aspal cair. Pada perkerasan lentur, beban akan disebarkan ke bagian tanah dasar. kerusakan biasanya yang terjadi rutting atau alur bekas ban kendaraan saat perkerasan menerima pengulangan beban pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Lapisan permukaan yang tersusun dengan aspal

2.2. Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton adalah suatu lapisan konstruksi jalan raya, terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*), dicampur, dihampar dan dipadatkan secara panas dalam suhu tertentu.

Aspal beton terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*), dan Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete – Base*).

2.2.1 *Asphalt Concrete -Wearing Couse* (AC-WC)

Asphalt Concrete - Wearing Couse (AC-WC) merupakan lapis perkerasan yang berada paling atas dan berfungsi sebagai lapis aus. Walaupun lapisan ini bersifat non struktur, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Bahwa tebal nominal minimum lapis AC-WC adalah 4 cm dengan toleransi -3 mm.

Ketentuan sifat-sifat yang dimiliki campuran Laston AC-WC, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC-WC

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan(mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60 °C ⁽⁵⁾	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min.	2		

Sumber:Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

2.2.2 Bahan Penyusun Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)

Bahan penyusunan perkerasan lentur terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, pasir, filter. Bahan -bahan yang digunakan tersebut, sebelumnya harus diuji sesuai standar dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, hal tersebut agar diperoleh perkerasan yang memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan yang direncanakan, berikut adalah bahan penyusun lapis aspal beton.

A. Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau coklat tua yang akan padat pada suhu ruang dan dipanaskan akan cair lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air, dan mudah dikerjakan. Fungsi aspal adalah untuk bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Aspal padat dengan penentrasi 60/70 akan mengeras pada suhu ruangan dan mencair jika dipanaskan untuk

jalanan yang volume lalu lintasnya sedang atau tinggi, dan daerah yang memiliki iklim panas, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada spesifikasi aspal pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kpa (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Viskositas kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas penyimpanan: perbedaan titik lembek (oC)	ASTM D 5976-00 PART 6.1 DAN SNI 2434:2011	-
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2
	pengujian residu hasil TFOT (SNI -06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-0306835-2002):		
11	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kpa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
13	Penetrasi pada 25°C (%semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
	Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 Mpa		
15	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kpa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

B. Agregat

Agregat adalah campuran yang terdiri dari batu pecah, kerikil, pasir atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan dan merupakan komponen paling besar pada campuran dan bahan utama penyusun perkerasan untuk menentukan mutu pada perkerasan (Iqbal, 2018). Berikut persyaratan agregat kasar, halus dan filter yang harus dipenuhi:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan rancangan campuran tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) dengan syarat agregat kasar harus bersih, keras, awet, dan bebas dari bahan lainnya yang bisa menurunkan kualitas agregat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat Jenis Agregat Kasar	-	Min.2,5	SNI 1969-2016
2	Penyerapan Agregat Kasar	%	Maks.3%	SNI 1969-2016
3	Material Lolos Ayakan No.200	%	Maks.1%	SNI ASTM C117:2012
4	Keausan Agregat Ayakan	%	Maks.40%	SNI 2417-2008

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

2. Agregat Halus

Agregat Halus adalah agregat yang pengayakan batu pecah dan lolos ayakan No.4 (4,75 mm), dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gesekan antara partikel. berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi agregat halus

No	Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat Jenis Agregat Halus	-	Min.2,5	SNI 1970-2016
2	Penyerapan Agregat Halus	%	Maks.3	SNI 03-1970-2016
3	Material Lolos Ayakan No.200	%	Maks.10	SNI ASTM C117:2012

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

C. Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Gradasi agregat dalam persentase lolos, atau

tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi ditentukan oleh Analisa saringan, agregat harus melalui satu set saringan. Gradasi agregat dalam persentase berat masing-masing lolos pada saringan tertentu, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Gradasi agregat gabungan campuran AC-WC

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5			100
1 "	25		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
NO.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

Pengujian keausan Agregat (abrasi dengan Mesin Los Angeles. Pemeriksaan terhadap agregat adalah kekuatan untuk mencegah agregat rusak pada saat proses pemadatan campuran aspal dan juga pada saat menerima beban kendaraan. Tes keausan dilakukan dengan abrasi Los Angeles pada campuran AC-WC pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Gradasi dan berat benda uji

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3,0	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	2 1/2	50	2,0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	2	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	---	-	5000±25	5000±25
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	1/4	4,75	No.4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	no. 4	2,36	No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

Adapun rumus keausan agregat adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (gram)

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

1. Berat Jenis dan penyerapan Agregat

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat kasar, agregat halus, dan filler dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD).

a. Agregat Kasar

Pengujian dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD). Rumus yang telah ditentukan:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{(B_J - B_A)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Permukaan} = \frac{B_J}{(B_J - B_A)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_A)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_J - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

BK = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

BA = Berat benda uji dalam air (gram)

BJ = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

b. Agregat Halus

Pengujian dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat halus dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD). Rumus yang telah ditentukan:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{(B + B_J - B_T)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Permukaan} = \frac{B_J}{(B + B_J - B_T)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{(B + B_k - B_T)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_J - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

BK= Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

B = Berat picnometer berisi air (gram)

BT= Berat picnometer berisi benda uji dan air (gram)

BJ = Berat benda uji kering permukaan jenuh /SSD (gram)

c. Analisa Saringan

Pengujian ini untuk mengetahui variasi ukuran butiran agregat dengan cara mengayaknya pada saringan -saringan yang telah ditentukan.

Rumus:

$$\text{Persentase Saringan} = \frac{A}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

A = Berat agregat tertahan (gram)

B = Jumlah berat agregat tertahan (gram)

D. Bahan Pengisi Filler

Bahan pengisi (filler) adalah material yang lolos saringan no.200 lebih dari 75% terhadap beratnya. Salah satu jenis yang biasa digunakan adalah semen. Fungsi bahan pengisi filter untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Spesifikasi persyaratan untuk bahan pengisi (filter) dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2. 7 Spesifikasi bahan pengisi (filler)

No	Jenis Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat jenis filter	-	Min.1	SNI 15-2531-1991
2	Lolos ayakan No.200	%	≥ 75%	SNI ASTM C136:2012

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

E. Ekstraksi *Reclaimed Asphalt pavement* RAP

Bahan daur ulang beraspal (RAP) harus diperoleh dari hasil pengupasan atau pembongkaran pada perkerasan lama selanjutnya harus diproses cuci lalu diekstraksi untuk memisahkan antara aspal dan agregat hal ini dilakukan dengan merendam RAP kedalam larutan bensin selama 24 jam selanjutnya agregat dicuci dengan bensin hingga bersih siap untuk digunakan.

2.2.3 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal untuk campuran adalah kadar aspal efektif yang menyelimuti butir – butir efektif maka dilakukan pengujian laboratorium pada pengujian laboratorium kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal tengah atau ideal dapat ditentukan menggunakan rumus, biasanya kadar aspal tengah dikenal dengan kadar aspal rencana (Pb).

2.2.4 Parameter Marshall

Prinsip dasar metode Marshall adalah untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan (*flow*) plastis dari campuran aspal.

Pengujian karakteristik Marshall menggunakan RSNI M-01-2003. Karakteristik campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter yang dapat dari pengujian Marshall:

A. Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (rutting), maupun mengalami bleeding. penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Nilai stabilitas terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetan berkurang. Pada Tabel 2.8

Rumus:

$$S = s \times k \times kb \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

S = Stabilitas Benda Uji (kg)

s = Pembacaan arloji stabilitas

k = kalibrasi alat

kb= koreksi benda uji (angka koreksi benda uji)

Tabel 2. 8 Daftar angka koreksi benda uji

Isi Benda Uji (cm3)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
241-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39

Isi Benda Uji (cm3)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
432-443	54	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	64	0,96
536-546	65,1	0,93
547-559	66,7	0,89
560-573	68,3	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Sumber: (SNI 06-2489-1991)

B. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah penurunan deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai flow yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasannya menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai flow tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk. Syarat nilai flow minimal 2-4 mm.

C. Rongga dalam campuran / *void in the mix* (VIM)

Rongga dalam campuran adalah persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga bersifat porous. mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Rumus:

$$VIM = 100 - \frac{G_{mb} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran setelah pemadatan, persentase dari volume total (%)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

D. Rongga pada campuran agregat / *void mineral aggregate* (VMA)

Rongga pada campuran agregat adalah rongga udara antar butir agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 15%.

Rumus:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total (%)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)

E. Rongga terisi aspal/ *void filled with asphalt* (VFA)

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

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

VFA = Rongga udara terisi Aspal (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

F. Hasil bagi marshall (Marshall Quantient)

Marshall quantient adalah hasil antara stabilitas dengan flow. Nilai Marshall quantient akan memberikan nilai fleksibilitas pada campuran. Semakin besar nilai marshall quantient maka campuran semakin kaku, sebaliknya apabila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.

$$MQ = \frac{SM}{F} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

MQ =Marshall Quantient (kg/mm)

SM =Stabilitas Marshall (kg)

F =Flow (mm)

G. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa (IKS) adalah nilai yang digunakan sebagai parameter untuk mengetahui durabilitas campuran aspal. Untuk mendapatkan nilai IKS adalah Marshall Immersion Test yaitu uji perendaman, dengan didapatkan nilai stabilitas marshall yang dihasilkan dengan perendaman selama 24 jam. Kemudian diperhitungkan kehilangan stabilitas yang didapat oleh stabilitas yang dihasilkan dengan perendaman 30 menit dalam persentase. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah minimal 90%.

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

S1 =Rata- Rata nilai stabilitas setelah perendaman selama T1

S2 =Rata- Rata nilai stabilitas setelah perendaman selama T2

2.3. Material Daur Ulang (*Reclaimed Asphalt Pavement/RAP*)

Pada umumnya ruas-ruas jalan di Indonesia menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada. Untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya dikarenakan kekurangan aspal dengan impor aspal. Salah satu alternatif untuk mengatasi kendala kekurangan aspal adalah pemanfaatan RAP khususnya untuk pekerjaan pemeliharaan perkerasan beraspal dengan menggunakan metode cut and fill (Nono, 2015), teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan agregat (45% - 100%) dan aspal baru (60%) sehingga nilai ekonomis bahan kupasan meningkat, hemat energi, dan geometrik jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam hal ini juga dinyatakan dalam (Kandhal dan Mallick, 1997) bahwa penggunaan RAP dapat memberikan penghematan biaya antara 14-34% dengan persentase RAP 20-50% dalam total campuran aspal.

Campuran aspal beton pada perkerasan yang mencapai akhir dari umur rencana, kemudian dibongkar terdapat material yang lama dapat digunakan kembali untuk pembangunan jalan baru (Silva, dkk. 2012). Material RAP umumnya dicampur dengan persentase agregat baru

dan aspal untuk menghasilkan campuran baru. RAP dapat digunakan di lapisan perkerasan yang lebih rendah yaitu lapis pengikat untuk memberikan peningkatan terhadap beban lalu lintas dan juga lapis permukaan (Qadi, dkk. 2012).

Secara umum perkerasan daur ulang memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan agregat baru dan atau bahan peremaja. Untuk mencapai hasil yang memadai, aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Pradani, dkk 2011). Campuran yang menggunakan daur ulang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif yang baik untuk konstruksi jalan, terutama jika menggunakan bahan peremaja sehingga dapat mengurangi suhu produksi dan meningkatkan performance kinerja campuran tersebut (Silva, dkk. 2012). Penggunaan RAP dalam campuran beraspal panas berdasarkan the Asphalt Institute (1993) adalah sekitar 10% - 35% untuk unit produksi jenis takaran, sedangkan untuk unit produksi jenis drum kuantitas yang praktis adalah sekitar 10% - 50%. Valdes, dkk (2011) menyampaikan bahwa persyaratan campuran daur ulang sekitar 10% - 50%, dengan campuran 40% RAP masih dalam rentang yang diterima sedangkan campuran dengan 60% diluar batas yang ditentukan.

Dalam metoda perkerasan daur ulang ini diperlukan evaluasi sifat fisik material hasil pengupasan perkerasan lama karena adanya proses aging dan oksidasi yang merubah sifat fisik dari material. Untuk aspal, proses ini menyebabkan hilangnya fraksi ringan dalam komposisi aspal, meningkatnya kadar asphaltenes, hardening (peningkatan viskositas) dan hilangnya daktilitas aspal. Selain itu penuaan yang terjadi akan menyebabkan perilaku getas dan kaku yang berlebihan, dan meningkatnya kecenderungan campuran untuk disintegrasi dan retak. Sedangkan gradasi agregat juga dapat berubah akibat dari degradasi dari lalu lintas dan pengaruh lingkungan (Pradani, 2011; Zaumanis, 2013) Beberapa hal yang perlu dilakukan evaluasi terhadap material RAP adalah sebagai berikut (Fawas Kaseer dkk, 2019; Jian Li dkk, 2018, Zhang J. dkk, 2018, Widayanti A, dkk, 2019; Bethary dkk, 2019):

- 1) Gradasi agregat apabila disesuaikan dengan spesifikasi yang akan digunakan, dapat ditentukan kebutuhan penambahan agregat baru atau material lain pengganti agregat.
- 2) Kadar aspal dapat ditentukan atas dasar berat relatif dari aspal dan agregat yang telah diekstraksi dan dalam penggunaannya, kadar aspal dari material pengupasan dalam pengujian Marshall dapat berpengaruh terhadap penambahan jumlah dan tingkat aspal yang dibutuhkan. Untuk tingkat aspal yang dipakai dalam campuran konvensional.
- 3) Sifat rheologi aspal (penetrasi atau viskositas) mengalami penurunan, namun hal ini dapat dikembalikan dengan penambahan bahan peremaja (rejuvenating agent).

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini berdasarkan penelitian terdahulu, baik dari teori penelitian, dan metode penelitian yang digunakan dibawah ini sebagai berikut. pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Penelitian sebelumnya

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
1.	Rindu Twidi Bethary Bambang Sugeng Subagio Harmein Rahman Nyoman Suaryana	Effect of Slag and Recycled Materials on The Performance of Hot Mix Asphalt	Jurnal Teknik Sipil Vol. 26 No. 1, April 2019, Institut Teknologi Bandung, ISSN 0853-2982 <u>Tahun 2019</u>	Menganalisa kinerja campuran AC-BC dengan menggunakan slag sebagai pengganti agregat	Kinerja optimum campuran terlihat pada kandungan RAP 30%.	Menggunakan material RAP	Tidak menguji slag sebagai pengganti agregat
2.	Sri Gusty M.W. Tjaronge Nur Ali Rudy Djamaluddin	Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt pada Campuran Aspal Berongga Campur Panas Hampar Dingin terhadap Stabilitas Marshall.	Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017	Mengetahui stabilitas campuran yang mengandung Asbuton Butir Lawele (BGA).	Penggunaan Asbuton butir cenderung meningkatkan nilai stabilitas campuran (BGA optimum 5,5%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis campuran, menggunakan material RAP

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
3.	Muhammad Fauzan Sofyan M. Saleh M. Isya	Modifikasi Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Buton Granular Asphalt (BGA) sebagai Bahan Substitusi.	Journal of The Civil Engineering Student, Vol.1. No.3, Desember 2019 (155-161) <u>Tahun 2019</u>	Mengetahui karakteristik campuran yang menggunakan asbuton butir (BGA).	Campuran dengan BGA cenderung memiliki nilai stabilitas Marshall yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa BGA (BGA optimum 8%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis campuran, menggunakan material RAP
4.	La One M.W. Tjaronge Rita Irmawaty Muralia Hustim	Effect of Buton Granular Asphalt Gradation and Cement As Filler on Performance of Cold Mix Asphalt Using Limestone Aggregate	Journal of Engineering Science and Technology Vol. 15, No. 1 (2020) 419-433 <u>Tahun 2020</u>	Mengetahui kinerja campuran aspal dingin yang mengandung asbuton butir (BGA) dan filer semen.	Terjadi peningkatan nilai stabilitas Marshall pada campuran dengan BGA dan semen (optimum BGA 14%, semen 2,5%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis gradasi campuran, menggunakan material RAP
	Whinda Pratiwi Tiara Gea	Pengaruh Asbuton terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang dengan	Student Journal ub.ac.id	Mengetahui kinerja campuran daur ulang yang	Menggunakan agregat RAP seluruhnya, asbuton butir	Menggunakan RAP	Gradasi campuran, proporsi RAP.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
	Noviastuti Ludfi Djakfar Hendi Bowoputro	peremaja Oli Bekas dan Solar	<u>Tahun 2017</u>	mengandung asbuton butir.	sebagai filler. Menghasilkan nilai stabilitas yang meningkat seiring penambahan asbuton.		
6.	Anindya Andana Ningrum Yogie Risdianto	Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18 (2018) Tahun 2018	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang menggunakan RAP dan BGA.	Campuran dengan BGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan MQ	Menggunakan material RAP.	Gradasi campuran, proporsi RAP.
7.	Ayudya Retno Wilis Yogie Risdianto	Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Lawele Granular Asphalt (LGA) sebagai Bahan	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18 (2018) Tahun 2018	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang	Campuran dengan LGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall disbanding	Menggunakan material RAP.	Gradasi campuran, proporsi RAP.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
		Substitusi Agregat pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.		menggunakan RAP dan LGA.	campuran dengan RAP saja.		

BAB III

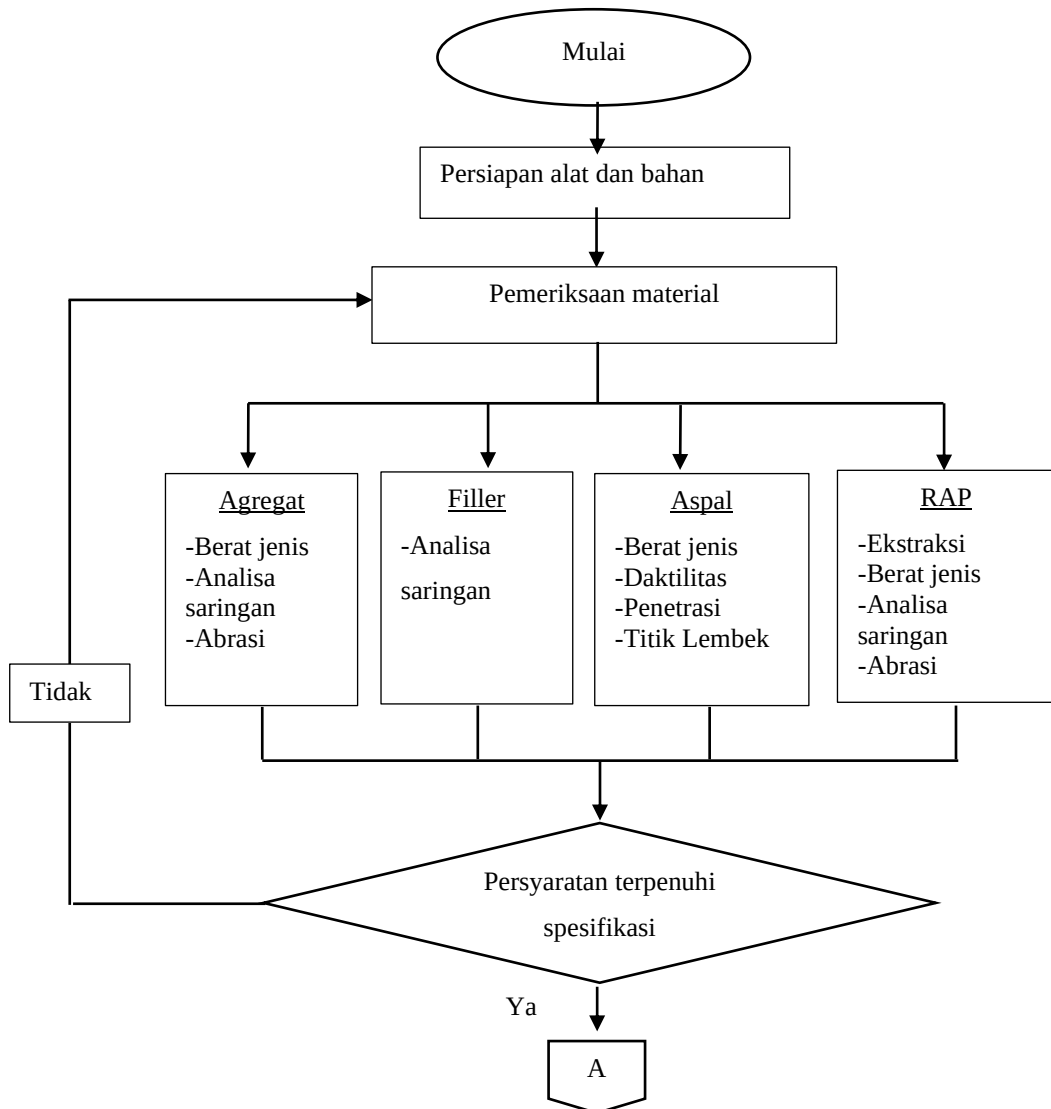
METODE PENELITIAN

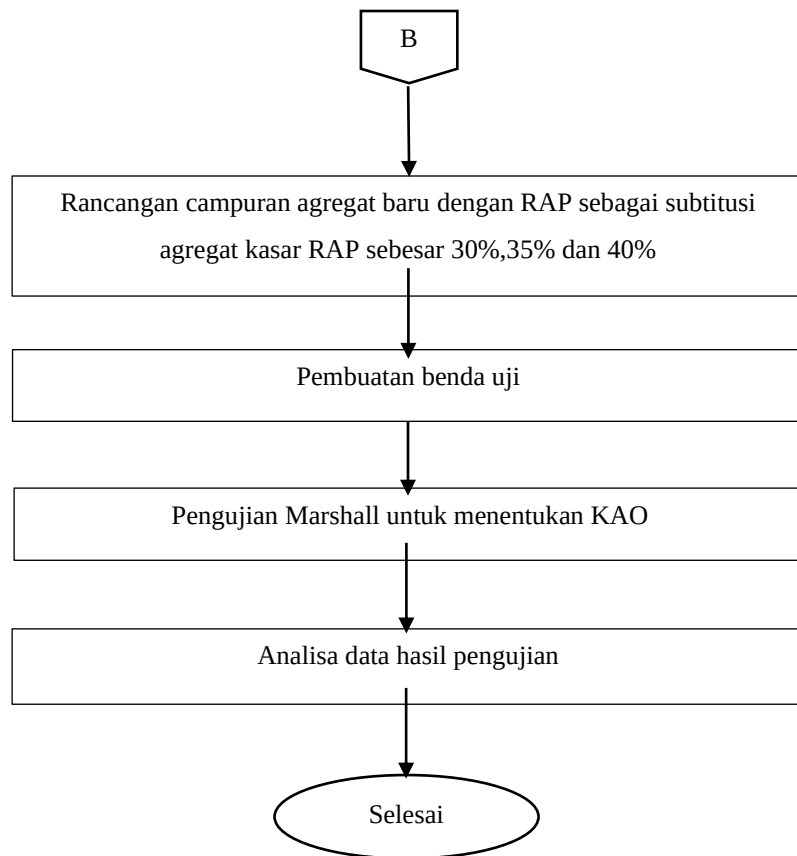
3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proyek Preservasi Jalan SP.3 Lempake – SP.3 Sambera - Santan, terdiri atas pengujian material (aspal, agregat kasar, agregat halus, filler) pembuatan benda uji dan pengujian Marshall.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian ini dengan diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3. Prosedur Penelitian

Pemeriksaan material dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan pada penelitian. Penelitian ini dilakukan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

3.3.1. Pemeriksaan Material

Tabel 3. 1 Pemeriksaan Material

No	Material	Pengujian
1	Aspal	-Berat jenis -Penetrasi -Titik lembek aspal -Saktilitas aspal
2	Agregat	-Berat jenis -Analisa saringan -Abrasi
3	Filler	-Analisa Saringan
4	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	-Berat jenis -Analisa saringan -Abrasi

3.3.2. Metode Kombinasi Campuran

Penentuan komposisi agregat dilakukan dengan menggunakan hasil saringan yang didapatkan dari tiap-tiap agregat yang kemudian dilakukan proses *Trial and error* untuk mendapatkan komposisi yang tepat dan memenuhi spesifikasi gradasi gabungan AC-WC sesuai spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

Perencanaan kadar aspal rencana dapat dilakukan setelah menetapkan komposisi agregat yang direncanakan untuk campuran aspal beton. Perencanaan ini dibutuhkan untuk menentukan persentase kadar aspal yang akan digunakan untuk campuran. Kadar aspal yang didapatkan adalah kadar aspal teoritis yang dijadikan acuan mencari kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan pengujian Marshall.

Kombinasi campuran yang dilakukan pada penelitian ini adalah membuat benda uji dengan 5 variasi kadar aspal Pb-1%, Pb-0,05%, Pb%, Pb+0,5%, Pb+1%. Jumlah benda uji pada tiap variasi kadar aspal sebanyak 3 buah. sehingga total jumlah sampel benda uji pada variasi kadar aspal rancangan sebanyak $15 \times 3 = 45$ buah dengan jumlah tumbukan sebanyak 2×75 tumbukan per satu benda uji, untuk mendapatkan hasil kadar yang lebih akurat. Pada Tabel 3.2 ditampilkan jumlah benda uji dengan variasi RAP 30%, 35% dan 40%.

Tabel 3. 2 Sampel KAO

Berat Sampel (kg)	Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji (buah)			
		RAP 30%	RAP 35%	RAP 40%	Hasil
1200	Pb-1%	3	3	3	Kadar Aspal Optimum (KAO)
	Pb-0,5%	3	3	3	
	Pb%	3	3	3	
	Pb+0,5%	3	3	3	
	Pb+1%	3	3	3	
Total		15	15	15	45

Setelah benda uji disiapkan kemudian dilakukan pengujian *Marshall*, dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) yang telah ditetapkan sebelumnya.

Setelah mendapatkan nilai KAO pada perendaman 30 menit, berikutnya membuat sampel dengan perendaman 24 jam sebanyak 3 sampel, dari jumlah seperti tampak pada tabel 3.2. Kemudian melakukan suatu pengujian untuk mendapatkan nilai indeks kekuatan sisa berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 adalah minimal 90%.

Tabel 3. 3 Sampel Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Berat Sampel (kg)	Kadar Aspal Optimum (KAO)	Jumlah Benda Uji (buah)
1200	RAP + KAO perendaman 30 menit	3
	RAP + KAO perendaman 24 jam	3
Total		6

3.4. Alat Dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.4.1. Alat yang digunakan

Tabel 3. 4 Daftar Alat

No	Nama Alat
1	Satu set saringan (3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200)
2	Alat pemeriksa aspal: Peralatan yang digunakan antar lain petrometer, ring dan ball, alat daktilitas, picnometer, timbangan, waterbath dan kompor
3	Alat pemeriksa Agegat: Peralatan yang digunakan antar lain mesin Los Angeles (alat abrasi, oven, timbangan berat, alat uji berat jenis (picnometer, timbangan dan cawan).
4	Alat uji marshall: Alat yang digunakan antara lain satu set marshall - Alat uji marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin pengujian berkapasitas 22,2 KN (5000lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukuran flowmeter - Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm) - Marshall manual compactor yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) - Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan - Bak perendam (waterbath) yang dilengkapi pengatur suhu. - Alat-alat seperti penggorengan pencampuran, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong dan pan.

3.4.2. Bahan yang digunakan

Tabel 3. 5 Daftar Bahan

No	Bahan
1	Agregat kasar dengan ukuran maksimal 10 mm dan 30 mm dari PT Bumi Karsa
2	Agregat halus berupa abu batu dari PT Bumi Karsa
3	Berupa filler dari semen PCC
4	Aspal penentrasi 60/70
5	Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) limbah dari pengelupasan Jl. Sp.3 Lempake – Sp. Sambera -Santan STA 3+400 dalam Kota Samarinda, Kalimantan Timur.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh data berupa berat jenis, nilai abrasi, serta hasil analisa saringan untuk material agregat kasar, agregat halus, filler, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), dan aspal. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kualitas dari masing-masing material yang akan digunakan dalam campuran perkerasan, sehingga dapat memastikan kesesuaian material dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.

4.2 Hasil pengujian Material

Hasil pengujian terhadap karakteristik material antara lain berat jenis, abrasi, analisa saringan, agregat kasar, agregat halus, filler dan RAP ditampilkan pada tabel 4.1 sampai tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar.

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil			Keterangan
			Batu 1/2	Chipping	RAP	
1	Berat jenis	Min 2,5	2,795	2,668	2,647	Memenuhi
	a. Kering oven (bulk)					
	b. Permukaan jenuh (SSD)					
	c. Semu		2,858	2,766	2,792	Memenuhi
2	Penyerapan	Maks 3%	0,791	1,334	1,965	Memenuhi

Sumber: Hasil pengujian di laboratorium

Tabel 4. 2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus.

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
			Abu batu	
1	Berat jenis	Min 2,5	2,501 2,560 2,658	Memenuhi Memenuhi Memenuhi
	a. Kering oven (bulk)			
	b. Permukaan jenuh (SSD)			
	c. Semu			
2	penyerapan	Maks 3%	2,354	Memenuhi

Sumber: Hasil pengujian di laboratorium

Tabel 4. 3 Rekapitulasi hasil pengujian keausan agregat (Abrasi)

No	Jenis Pengujian Keausan Agregat	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Batu 1/2	16	Maks.40%	Memenuhi
2	RAP	36.86	Maks.40%	Memenuhi

Sumber: Hasil pengujian di laboratorium

Dari tabel 4.1 sampai 4.3 diperoleh bahwa berat jenis, abrasi, agregat kasar dan halus, memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

4.3 Hasil pengujian Aspal

Hasil pengujian terhadap sifat karakteristik aspal ditampilkan pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 4 Rekapitulasi hasil pengujian aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis Aspal	1.026	$\geq 1,00$	Memenuhi
2	Penetrasi Aspal	68.75	60-70	Memenuhi
3	Titik Lembek Aspal	50.6	$\geq 48^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
4	Daktilitas Aspal	132.5	$\geq 100 \text{ cm}$	Memenuhi

Sumber: Hasil pengujian di laboratorium

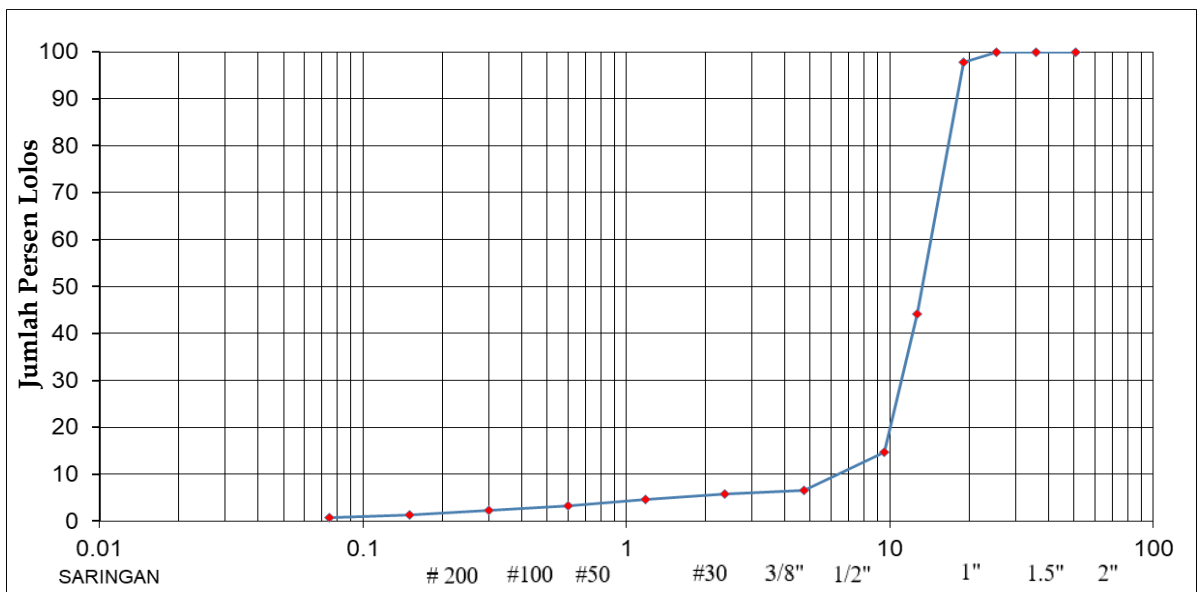
Dari Tabel 4.4 diperoleh bahwa berat jenis aspal, penetrasi, titik lembek aspal, dan daktilitas aspal yang digunakan memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018

4.4 Hasil pengujian Analisa Saringan

Hasil gradasi material agregat yang digunakan ditampilkan pada tabel 4.5 sampai dengan 4.8.

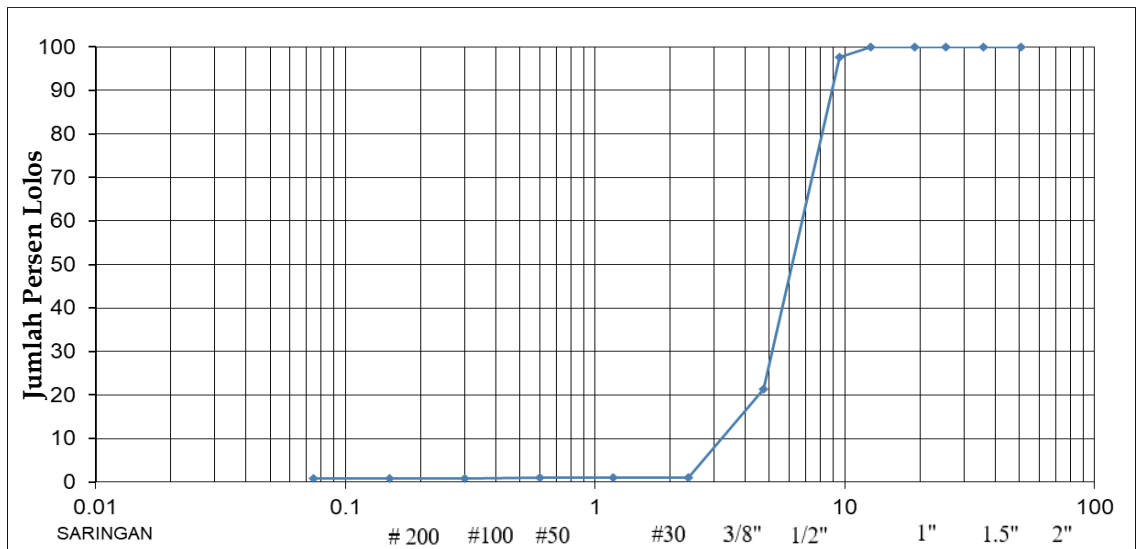
Tabel 4. 5 Hasil pengujian Analisa Saringan Batu 1-2

Analisa Saringan								
No. Saringan		Sampel No. 1			Sampel No.2			Rata-Rata
		Kumulatif			Kumulatif			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	55	2.20	97.80	51	2.04	97.96	97.88
1/2"	12,7	1355	54.20	45.80	1442	57.68	42.32	44.06
3/8"	9,52	2041	81.64	18.36	2222	88.88	11.12	14.74
No.4	4,75	2245	89.80	10.20	2429	97.16	2.84	6.52
No.8	2,36	2269	90.76	9.24	2442	97.68	2.32	5.78
No.16	1,18	2313	92.52	7.48	2457	98.28	1.72	4.60
No.30	0,6	2366	94.64	5.36	2468	98.72	1.28	3.32
No.50	0,3	2408	96.32	3.68	2477	99.08	0.92	2.30
No.100	0,15	2451	98.04	1.96	2478	99.12	0.88	1.42
No.200	0,075	2480	99.20	0.80	2482	99.28	0.72	0.76
Total Berat:		2500.0	Gram		2500.0	Gram		



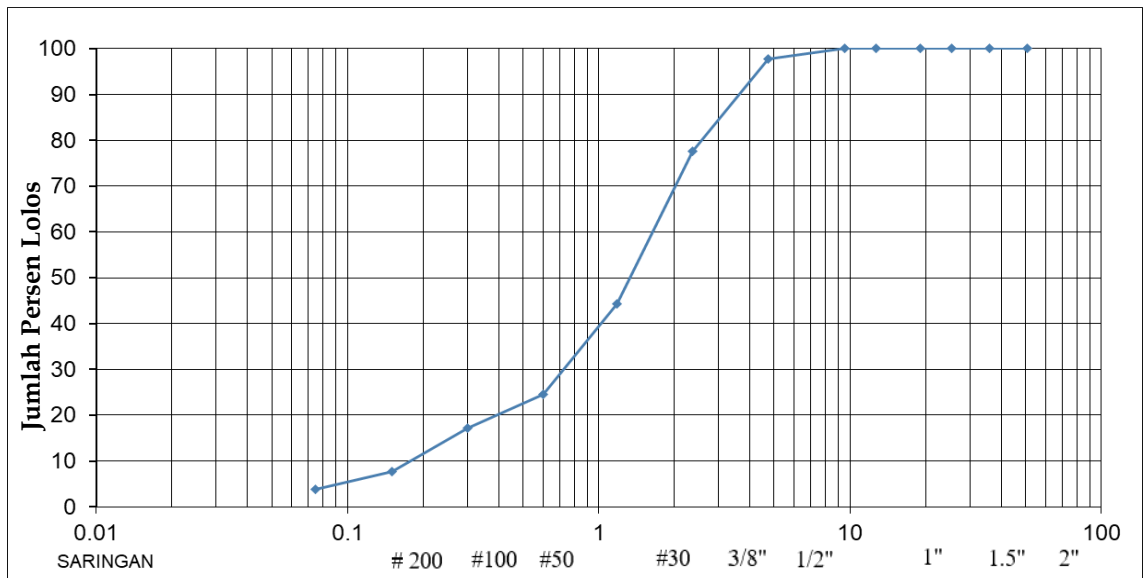
Tabel 4. 6 Hasil pengujian Analisa saringan chipping

Analisa Saringan								
No. Saringan		Sampel No. 1			Sampel No. 2			Rata-rata
		Kumulatif			Kumulatif			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	46	3.07	96.93	23	1.53	98.47	97.70
No.4	4,75	1196	79.73	20.27	1162	77.47	22.53	21.40
No.8	2,36	1484	98.93	1.07	1484	98.93	1.07	1.07
No.16	1,18	1489.00	99.27	0.73	1481.00	98.73	1.27	1.00
No.30	0,6	1491.00	99.40	0.60	1481.00	98.73	1.27	0.93
No.50	0,3	1492.00	99.47	0.53	1481.00	98.73	1.27	0.90
No.100	0,15	1493.00	99.53	0.47	1481.00	98.73	1.27	0.87
No.200	0,075	1494.00	99.60	0.40	1481.00	98.73	1.27	0.83
Total Berat:		1500.0	Gram		1500.0	Gram		



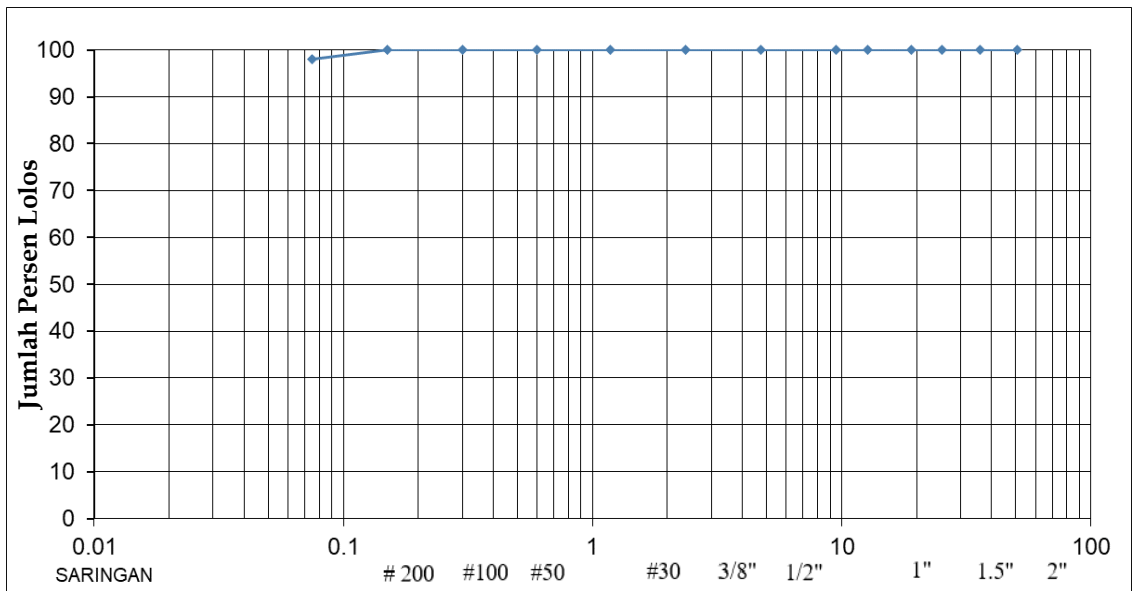
Tabel 4. 7 Hasil pengujian Analisa saringan Abu batu

				Analisa Saringan				
No. Saringan		Sampel No. 1			Sampel No. 2			Rata-rata
		Kumulatif			Kumulatif			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.4	4,75	20.00	2.00	98.00	24.00	2.40	97.60	97.80
No.8	2,36	208.00	20.80	79.20	241.00	24.10	75.90	77.55
No.16	1,18	544.00	54.40	45.60	570.00	57.00	43.00	44.30
No.30	0,6	749.00	74.90	25.10	760.00	76.00	24.00	24.55
No.50	0,3	825.00	82.50	17.50	833.00	83.30	16.70	17.10
No.100	0,15	921.00	92.10	7.90	924.00	92.40	7.60	7.75
No.200	0,075	962.00	96.20	3.80	963.00	96.30	3.70	3.75
Total Berat:		1000.0 Gram			1000.0 Gram			



Tabel 4. 8 Hasil pengujian Analisa saringan filler semen

Analisa Saringan								
No. Saringan		Sampel No. 1			Sampel No. 2			Rata-rata
		Kumulatif			Kumulatif			
Inch	mm	Gr. T.tahan n	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.4	4,75	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.8	2,36	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.16	1,18	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.30	0,6	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.50	0,3	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.100	0,15	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.200	0,075	6.24	2.08	97.92	6.12	2.04	97.96	97.94
Total Berat		300.0	Gram		300.0	Gram		



4.5 Rancangan Campuran

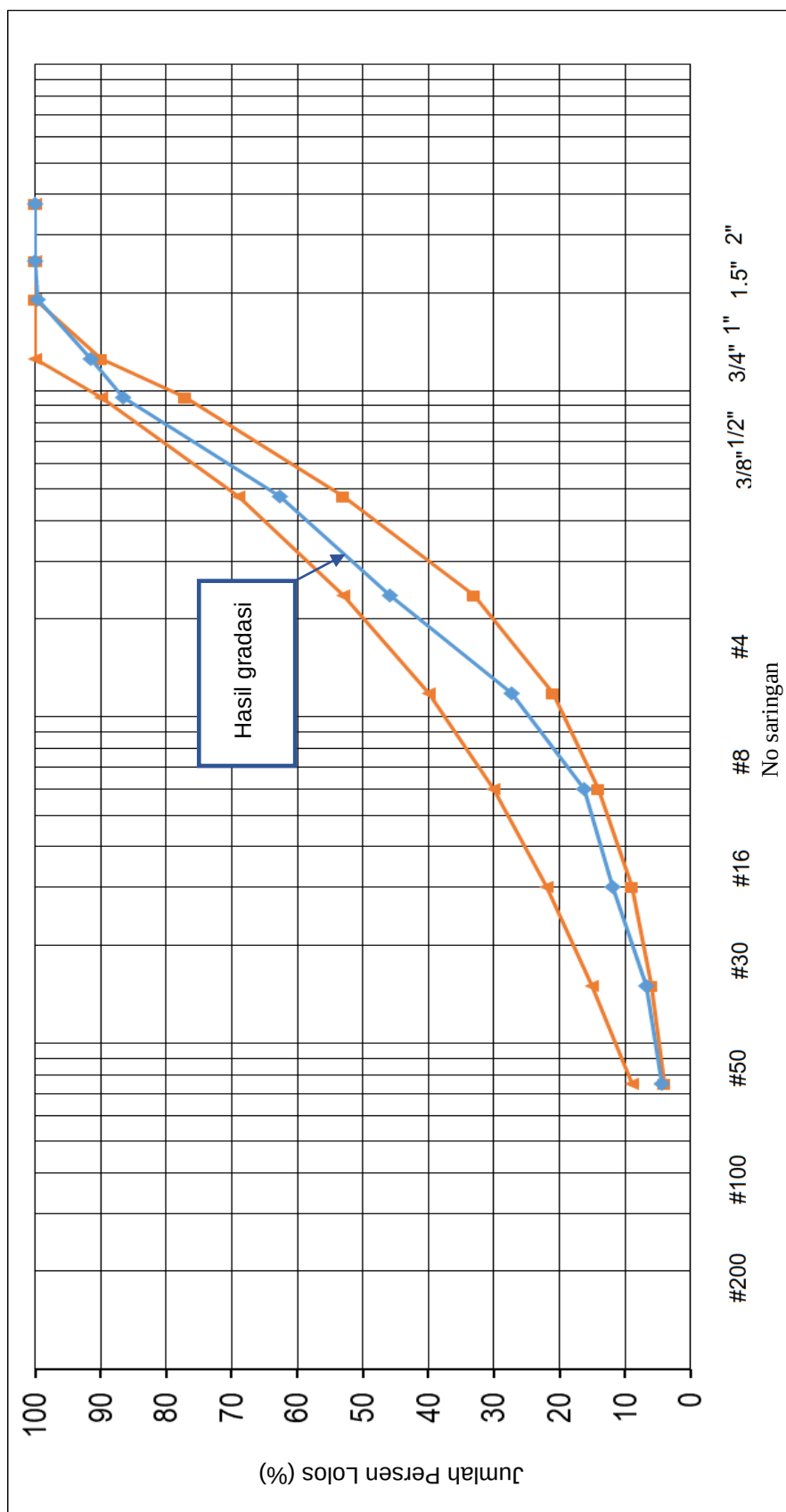
Rancangan dilakukan untuk mengetahui komposisi optimal campuran, di mana setiap agregat dipadukan dengan proporsi yang tepat untuk mencapai sifat yang diinginkan. Proses ini bertujuan untuk menentukan campuran yang paling sesuai dalam pembuatan lapisan aspal beton (AC-WC - Asphalt Concrete-Wearing Course), sehingga material yang digunakan dapat mencapai kekuatan, daya tahan, dan kualitas permukaan jalan yang diharapkan. Campuran ini juga harus memenuhi standar spesifikasi teknis, sehingga menghasilkan struktur perkerasan yang stabil dan aman bagi pengguna jalan.

Perancangan agregat gabungan untuk mendapatkan campuran masing-masing agregat dan sesuai dengan batas gradasi yang telah ditentukan. Campuran dari setiap agregat sangat menentukan untuk mendapatkan hasil *Marshall* sehingga gabungan agregat memiliki batas-batas zona atas dan batas-batas zona bawah untuk AC-WC agar hasil gabungan agregat sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018. Adapun hasil agregat gabungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4. 9 Analisa Saringan Gradasi Agregat

Analisa Saringan											
No. Saringan		Batu 1-2		Chipping		Abu batu		Filler Semen		Rata-rata	Spesifikasi AC-WC
		% Lolos	15%	% Lolos	28%	% Lolos	55%	% Lolos	2%		
Inch	mm										
2"	50.8	100.00	15.00	100.00	28.00	100.00	55.00	100.00	2.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	100.00	15.00	100.00	28.00	100.00	55.00	100.00	2.00	100.00	100.00
1"	25.0	100.00	15.00	100.00	28.00	100.00	55.00	100.00	2.00	100.00	100.00
3/4"	19.0	97.88	14.68	100.00	28.00	100.00	55.00	100.00	2.00	99.68	100.00
1/2"	12.5	44.06	6.61	100.00	28.00	100.00	55.00	100.00	2.00	91.61	90 - 100
3/8"	9.5	14.74	2.21	97.70	27.36	100.00	55.00	100.00	2.00	86.57	77 - 90
No.4	4.8	6.52	0.98	21.40	5.99	97.80	53.79	100.00	2.00	62.76	53 - 69
No.8	2.4	5.78	0.87	1.07	0.30	77.55	42.65	100.00	2.00	45.82	33 - 53
No.16	1.2	4.60	0.69	1.00	0.28	44.30	24.37	100.00	2.00	27.34	21 - 40
No.30	0.6	3.32	0.50	0.93	0.26	24.55	13.50	100.00	2.00	16.26	14 - 30
No.50	0.3	2.30	0.35	0.90	0.25	17.10	9.41	100.00	2.00	12.00	9 - 22
No.100	0.15	1.42	0.21	0.87	0.24	7.75	4.26	100.00	2.00	6.72	6 - 15
No.200	0.075	0.76	0.11	0.83	0.23	3.75	2.06	97.94	1.96	4.37	4 - 9

Tabel 4. 10 Grafik analisa saringan gabungan AC-WC



4.6 Hasil Penentuan Kadar Aspal Rencana

Setelah mendapatkan persentase agregat berdasarkan penentuan gradasi agregat selanjutnya menentukan kadar aspal rencana (P_b) dengan perhitungan rumus sebagai berikut.

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

Dengan CA sebesar 62.8 FA sebesar 58.4 dan FF sebesar 4.4 dari:

$$CA = 100\% - 62.8$$

$$CA = 37.2\%$$

$$FA = 62.8 - 4.4$$

$$FA = 58.4\%$$

$$FF = 4.4\%$$

Sehingga didapatkan nilai kadar aspal rencana (P_b) adalah:

$$P_b = 0.035(\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18(\%FF) + \text{Konstanta}$$

$$P_b = 0.035(37.2) + 0.045 (58.4\%) + 0.18(4.4\%) + 0.7$$

$$P_b = 5,42\% \approx 5,5\%$$

Didapatkan p_b sebesar 5,5%

Dari perhitungan di dapat nilai kadar aspal tengah sebesar 5,5% dari berat total campuran agregat.

4.7 Campuran benda uji

Setelah didapat komposisi agregat dan variasi kadar aspal, dibuat rancangan campuran benda uji dengan variasi kadar aspal. Sehingga masing- masing kadar aspal di buat tiga buah benda uji. Hasil berat agregat dan aspal berdasarkan proporsi masing -masing dapat dilihat di tabel 4.11

Tabel 4. 11 Berat aspal dan agregat

Berat Bricket	Persen Aspal	Berat Aspal	Batu 1-2	Chipping	Abu batu	Filler	Total
			15%	28%	55%	2%	100%
gr	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr
1200	4.50	54.00	171.90	320.88	630.30	22.92	1200
	5.00	60.00	171.00	319.20	627.00	22.80	1200
	5.50	66.00	170.10	317.52	623.70	22.68	1200
	6.00	72.00	169.20	315.84	620.40	22.56	1200
	6.50	78.00	168.30	314.16	617.10	22.44	1200

Tabel 4. 12 Berat aspal dan agregat + RAP 30%

Berat Bricket	Persen Aspal	Berat Aspal	Batu 1-2		Chipping		Abu batu	Filler	Total	Jumlah Sampel
			RAP	Baru	RAP	Baru	Baru	Baru		
			30%	70%	30%	70%	55%	2.00%		
gr	%	gr	Gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	Buah
1200	4.5	54	51.57	120.33	96.26	224.62	630.3	22.92	1200	3
	5	60	51.3	119.7	95.76	223.44	627	22.8	1200	3
	5.5	66	51.03	119.07	95.26	222.26	623.7	22.68	1200	3
	6	72	50.76	118.44	94.75	221.09	620.4	22.56	1200	3
	6.5	78	50.49	117.81	94.25	219.91	617.1	22.44	1200	3
									Jumlah	15

Tabel 4. 13 Berat aspal dan agregat + RAP 35%

Berat Bricket	Persen Aspal	Berat Aspal	Batu 1-2		Chipping		Abu batu	Filler	Total	Jumlah Sampel
			RAP	Baru	RAP	Baru	Baru	Baru		
			35%	65%	35%	65%	55%	2.00%		
gr	%	gr	Gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	Buah
1200	4.5	54	60.17	111.74	112.31	208.57	630.3	22.92	1200	3
	5	60	59.85	111.15	111.72	207.48	627	22.8	1200	3
	5.5	66	59.54	110.57	111.13	206.39	623.7	22.68	1200	3
	6	72	59.22	109.98	110.54	205.3	620.4	22.56	1200	3
	6.5	78	58.91	109.4	109.96	204.2	617.1	22.44	1200	3
									Jumlah	15

Tabel 4. 14 Berat aspal dan agregat + RAP 40%

Berat Bricket	Persen Aspal	Berat Aspal	Batu 1-2		Chipping		Abu batu	Filler	Berat Total	Jumlah Sampel
			RAP	Baru	RAP	Baru	Baru	Baru		
			40%	60%	40%	60%	55%	2.00%		
gr	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	Buah
1200	4.5	54	68.76	103.14	128.35	192.53	630.3	22.92	1200	3
	5	60	68.4	102.6	127.68	191.52	627	22.8	1200	3
	5.5	66	68.04	102.06	127.01	190.51	623.7	22.68	1200	3

Berat Bricket	Persen Aspal	Berat Aspal	Batu 1-2		Chipping		Abu batu	Filler	Berat Total	Jumlah Sampel
			RAP	Baru	RAP	Baru	Baru	Baru		
			40%	60%	40%	60%	55%	2.00%		
	6	72	67.68	101.52	126.34	189.5	620.4	22.56	1200	3
	6.5	78	67.32	100.98	125.66	188.5	617.1	22.44	1200	3
									Jumlah	15

4.8 Perhitungan Benda Uji Marshall

Setelah membuat benda uji dengan menambahkan RAP 30%,35%, dan 40% dari berat agregat kasar, maka dilakukan uji Marshall di hasilkan seperti pada tabel 4.11.

Tabel 4. 15 Data benda uji Marshall

Kadar Aspal	Benda uji	Berat benda uji (gram)			Tinggi benda uji (mm)	Angka Koreksi	Pembacaan pada alat	
		Kering	Dalam air	SSD			Stabilitas (kn)	Flow (mm)
4.50%	1	1172	686	1180	61	1.068	1309.982	2.2
	2	1178	689	1185	61	1.068	1288.853	2.5
	3	1175	687	1182	63	1.013	1281.818	2.6
5%	1	1184	698	1198	63	1.013	1381.96	3.4
	2	1189	696	1195	61	1.068	1415.625	3.3
	3	1176	695	1193	65	0.963	1370.833	3.1
5,5%	1	1176	687	1185	65	0.963	1408.912	3.4
	2	1184	690	1190	61	1.068	1521.269	3.2
	3	1178	689	1187	61	1.068	1457.883	3.6
6%	1	1192	697	1201	65	0.963	1275.637	3.2
	2	1187	692	1195	63	1.013	1361.932	3.1
	3	1184	689	1192	61	1.068	1479.012	3.3
6.50%	1	1186	692	1196	61	1.068	1373.368	3.3
	2	1182	690	1194	63	1.013	1261.79	3.4
	3	1180	689	1192	63	1.013	1201.705	3.2

Tabel 4. 16 Berat jenis dan aspal

Berat jenis	Batu 1/2	Chipping	Abu-batu	Filler semen	Aspal
Bj. Bulk	2.795	2.668	2.501	3.140	1.026
Bj. Semu	2.858	2.766	2.658	3.140	

Data pada tabel 4.11 dan 4.12 digunakan untuk menentukan sifat-sifat Marshall dengan rumus sebagai berikut.

- a. Berat jenis kering dari total agregat (Gsb)

$$G_{bs} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{15}{2.795} + \frac{28}{2.668} + \frac{55}{2.501} + \frac{2}{3.140}}$$

$$= 2,598$$

$$G_{se} = \frac{50}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}}$$

$$= \frac{50}{\frac{15}{2.858} + \frac{28}{2.766} + \frac{55}{2.658} + \frac{2}{3.140}}$$

$$= 2,661$$

- b. Berat jenis maksimum campuran teoritis

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{100 - \text{Kadar aspal}}{G_{se}} + \frac{\text{kadar aspal}}{B_{j.aspal}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{100 - 5,5}{2,661} + \frac{5,5}{1,026}}$$

$$= 2,447$$

- c. Isi benda uji

$$\text{Isi benda uji} = \text{berat SSD} - \text{Berat dalam air}$$

$$= 1190 - 690$$

$$= 500$$

- d. Berat jenis bulk campuran (Gmb)

$$G_{mb} = \frac{\text{Berat kering}}{\text{Isi benda uji}}$$

$$= \frac{1184}{500}$$

$$= 2,368$$

- e. Rongga dalam campuran (VIM)

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

$$= \frac{100 \times (2,447 - 2,368)}{2,368}$$

$$= 3,218 \%$$

- f. Rongga dalam agregat (VMA)

$$VMA = \frac{100 - (G_{mb}(100 - \text{kadar aspal}))}{G_{sb}}$$

$$= \frac{100 - (2,368(100 - 5,5))}{2,598}$$

$$= 13,859\%$$

- g. Rongga terisi aspal (VFA)

$$\begin{aligned} VFA &= 100 - \frac{VMA \times VIM}{VMA} \\ &= 100 - \frac{13,859\% \times 3,218\%}{13,859\%} \\ &= 76\% \end{aligned}$$

- h. Stabilitas (MS)

Stabilitas bacaan alat (q)= 74 KN

Rasio koreklasi benda uji (c)= 1,013 (hasil interpolasi)

Kalibrasi alat (k)= 43,61 Ibs

1 Ibs = 0,4536 kg

Kalibrasi alat = 43,61 x 0,4536
= 19,781 kg

MS = q x C x Kalibrasi alat

= 72,000 x 1,068 x 19,781

= 1521,269 kg

- i. Hasil bagi marshall (MQ)

$$MQ = \frac{Ms}{Flow}$$

$$= \frac{1521,269}{3,200}$$

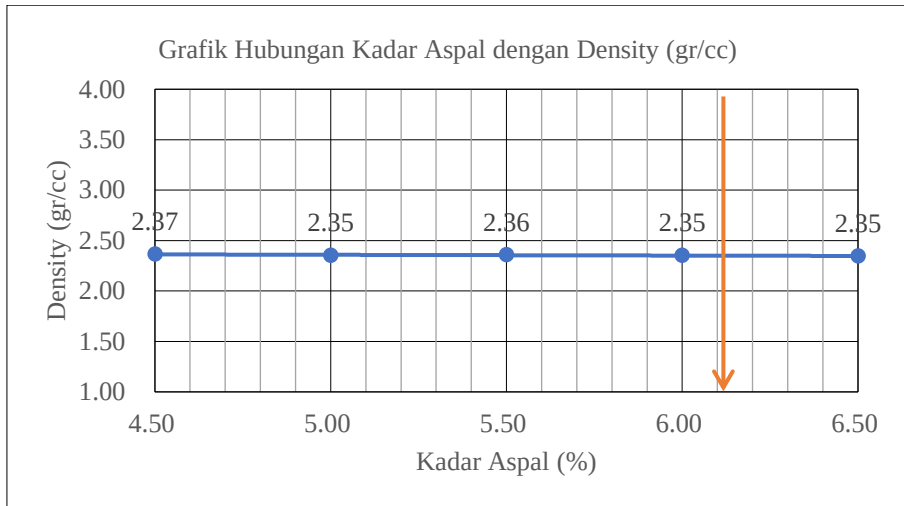
= 475,397 kg/mm

Perhitungan di atas merupakan perhitungan untuk benda uji 1 pada campuran RAP 35%.

Untuk hasil perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada tabel pengujian Marshall di bawah ini.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Marshall RAP 30%

HASIL UJI MARSHALL Bongkahan RAP 30%																									
No. Contoh		: Spec. AC-WC		AGREGATE		BULK	APP	Bj Eff Agregat		2.661	2.661	2.661	2.661	2.661											
Benda Uji				a. Batu 1/2			2.795	2.858	Absp Aspal		0.941	0.941	0.941	0.941											
Berat Jenis Aspal		: 1.026		b. Chipping			2.668	2.766																	
				c. Abu batu			2.501	2.638																	
				d. filler semen			3.140	3.140																	
									Kalibrasi		43.61 lb														
											19.78 kg														
No. Benda Uji	Presentase Lobos				Kadar Aspal	B.J. Bulk dari Total Agregat	B.J. Efektif dari Total Agregat	B.J. Maksimum dari Total Campuran Teoritis	Berat benda uji (gram)			Isi Benda Uji	B.J Bulk Campuran	Rongga di dalam camp. (% VM)		Rongga di dalam agregat (% VMA)		Rongga terisi aspal (%VFB)		Tinggi benda uji (mm)	Angka korelasi	Stabilitas		Kelelahan	
									kering	dalam air	SSD			g	f	h	i	j	k			l	m	n	o
	Batu 1/2	Chipping	Abu batu	Filler	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r			
1	15.0	28	55	2	4.5	2.598	2.661	2.483	1164.0	680.0	1172.0	492.0	2.366	4.723	13.026	63.747	61.00	1.07	61.00	1288.85	2.10	613.74			
2	15.0	28	55	2	4.5	2.598	2.661	2.483	1167.0	683.0	1176.0	493.0	2.367	4.671	12.979	64.014	63.00	1.01	62.00	1241.76	2.20	564.44			
3	15.0	28	55	2	4.5	2.598	2.661	2.483	1168.0	685.0	1179.0	494.0	2.364	4.782	13.081	63.441	65.00	0.96	63.00	1199.48	2.40	499.78			
														4.725	13.029	63.734				1243.36	2.23	559.32			
1	15.0	28	55	2	5.0	2.598	2.661	2.465	1168.0	676.0	1174.0	498.0	2.345	4.845	14.230	65.956	63.00	1.01	68.00	1361.93	3.10	439.33			
2	15.0	28	55	2	5.0	2.598	2.661	2.465	1170.0	678.0	1175.0	497.0	2.354	4.490	13.911	67.723	65.00	0.96	69.00	1313.72	3.20	410.54			
3	15.0	28	55	2	5.0	2.598	2.661	2.465	1174.0	680.0	1178.0	498.0	2.357	4.356	13.790	68.413	61.00	1.07	71.00	1500.14	2.30	652.23			
														4.563	13.977	67.350				1391.93	2.87	500.70			
1	15.0	28	55	2	5.5	2.598	2.661	2.447	1173.0	682.0	1178.0	496.0	2.365	3.344	13.971	76.066	63.00	1.01	71.00	1422.02	3.10	458.72			
2	15.0	28	55	2	5.5	2.598	2.661	2.447	1168.0	678.0	1175.0	497.0	2.350	3.949	14.510	72.781	63.00	1.01	73.00	1462.07	3.30	443.05			
3	15.0	28	55	2	5.5	2.598	2.661	2.447	1171.0	680.0	1176.0	496.0	2.361	3.509	14.118	75.148	65.00	0.96	76.00	1446.99	3.50	413.43			
														3.601	14.200	74.643				1443.69	3.30	438.40			
1	15.0	28	55	2	6.0	2.598	2.661	2.429	1172.0	682.0	1178.0	496.0	2.363	2.719	14.499	81.250	61.00	1.07	64.00	1352.24	3.30	409.77			
2	15.0	28	55	2	6.0	2.598	2.661	2.429	1176.0	686.0	1185.0	499.0	2.357	2.974	14.723	79.804	63.00	1.01	67.00	1341.90	3.10	432.87			
3	15.0	28	55	2	6.0	2.598	2.661	2.429	1174	680.0	1182.0	502.0	2.339	3.717	15.38	75.83	65.00	0.96	70.00	1332.75	3.00	444.25			
														3.137	14.867	78.902				1342.30	3.13	428.96			
1	15.0	28	55	2	6.5	2.598	2.661	2.411	1178.0	681.0	1185.0	504.0	2.337	3.073	15.876	80.644	65.00	0.96	60.00	1142.36	3.20	356.99			
2	15.0	28	55	2	6.5	2.598	2.661	2.411	1182.0	684.0	1187.0	503.0	2.350	2.550	15.422	83.463	61.00	1.07	61.00	1288.85	3.40	379.07			
3	15.0	28	55	2	6.5	2.598	2.661	2.411	1183.0	687.0	1190.0	503.0	2.352	2.468	15.351	83.923	61.00	1.07	60.00	1267.72	3.10	408.94			
														2.697	15.549	82.655				1232.98	3.23	381.67			



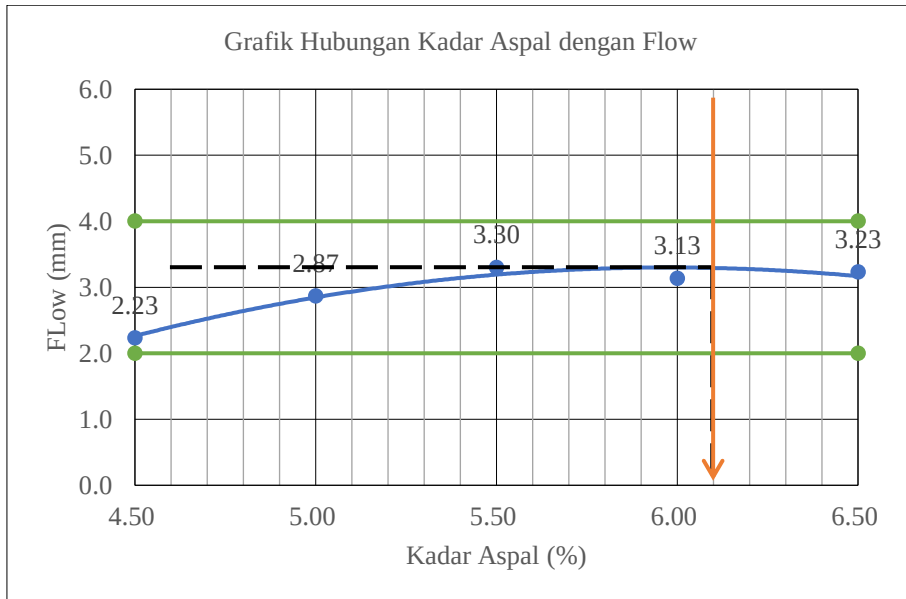
Gambar 4. 1 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density



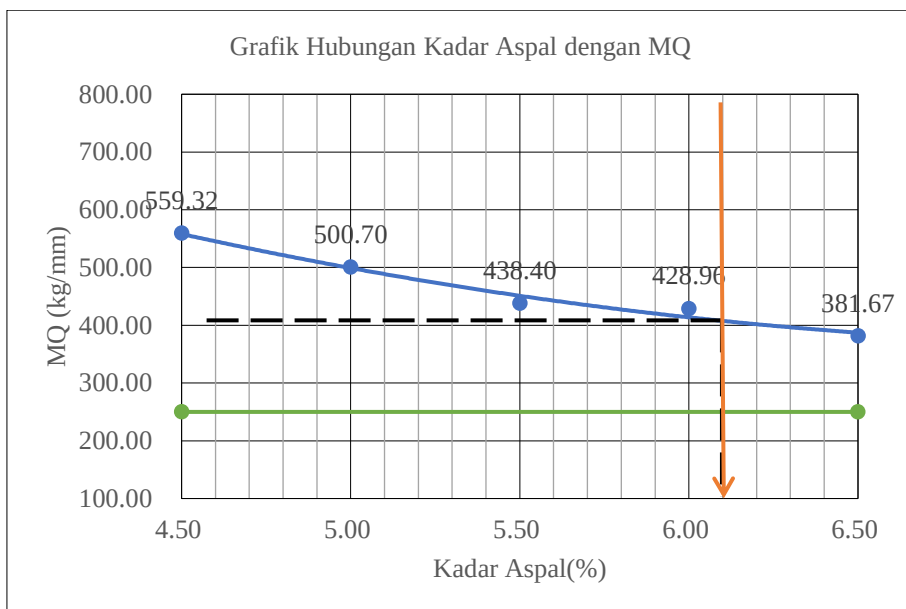
Gambar 4. 2 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



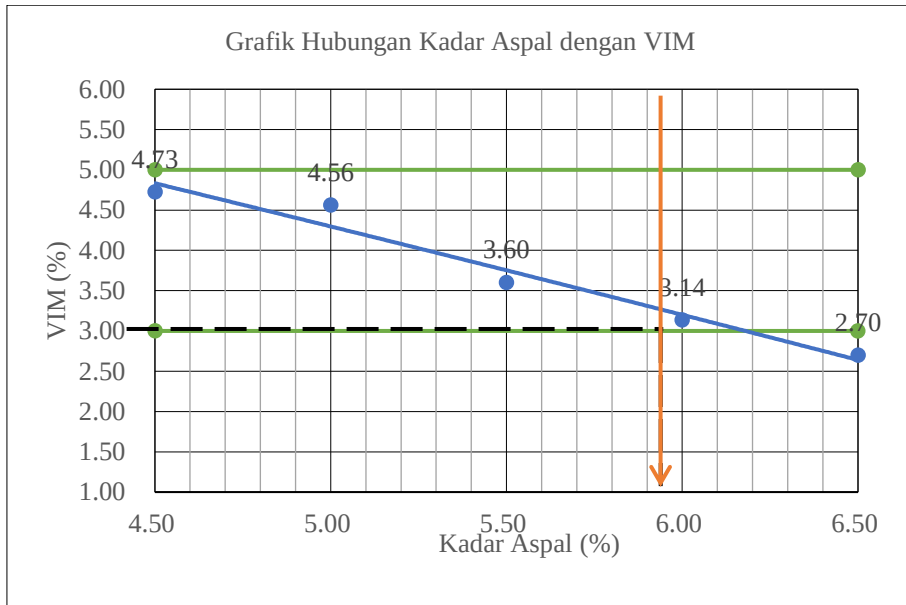
Gambar 4. 3 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow



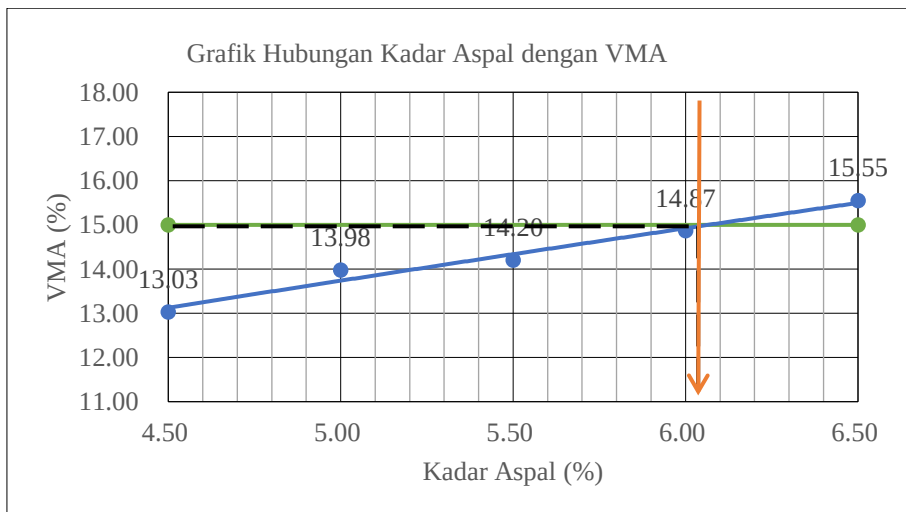
Gambar 4. 4 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ

Keterangan:

- — — Hasil
- — — Batas Nilai Parameter Marshall
- — — Nilai KAO



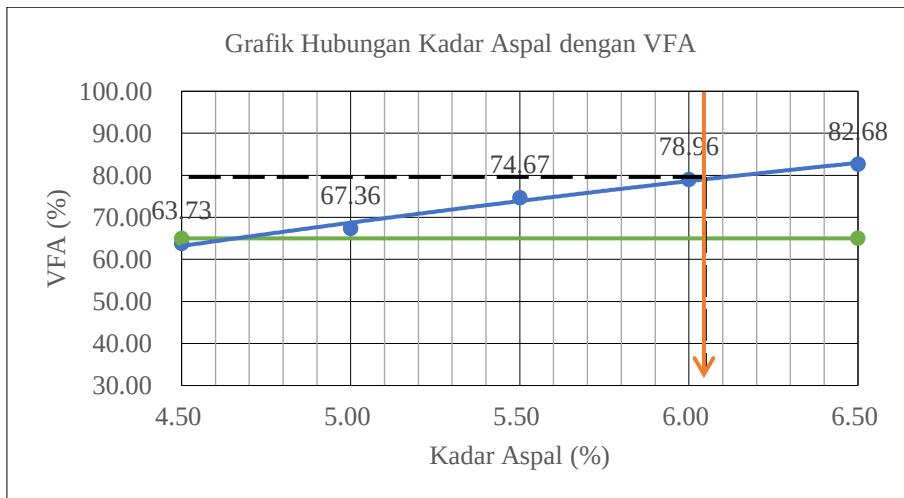
Gambar 4. 5 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM



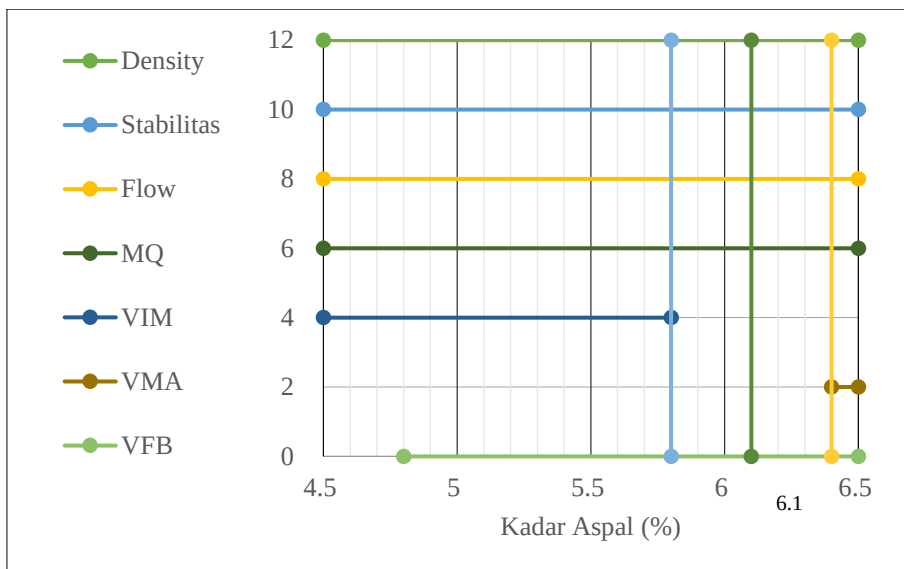
Gambar 4. 6 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



Gambar 4. 7 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA



Gambar 4. 8 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 30% AC-WC.

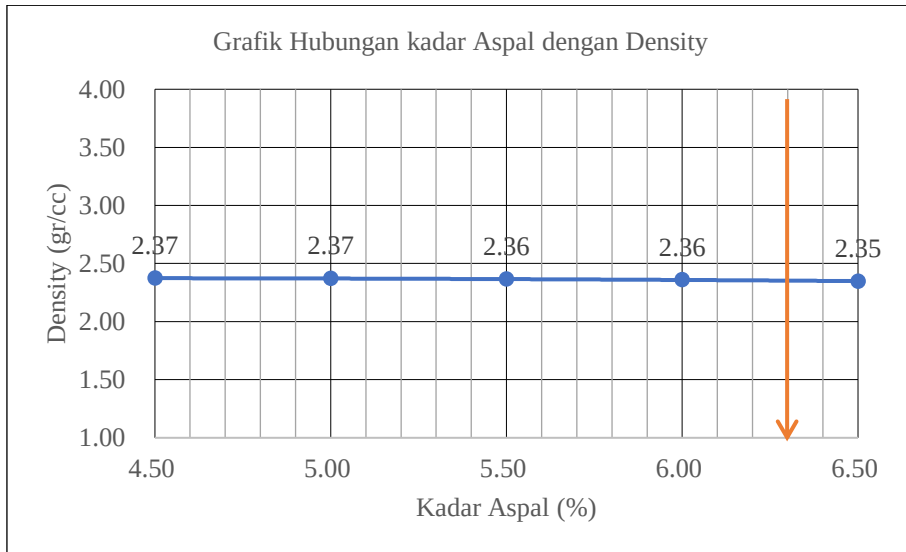
Keterangan:

— Hasil

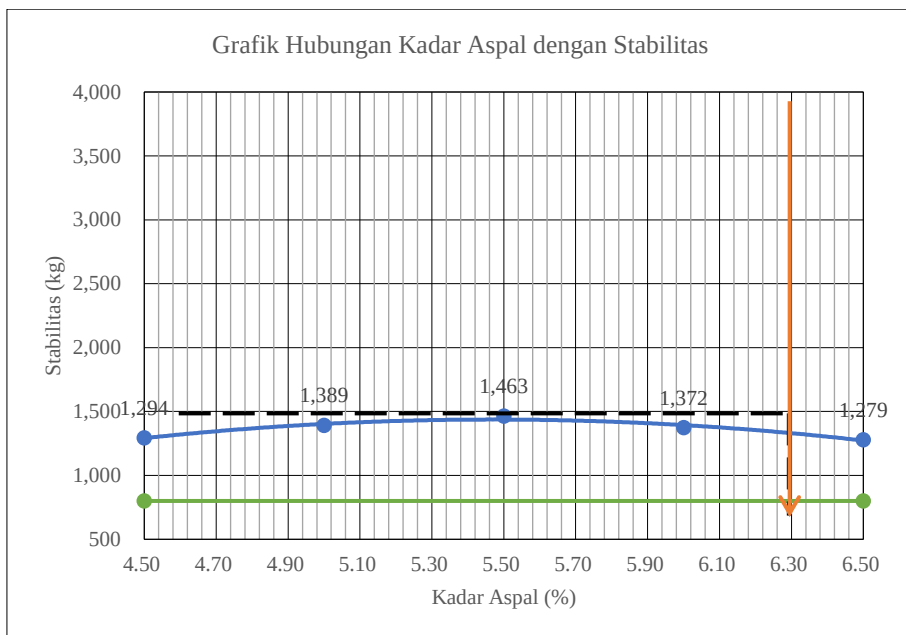
— Batas Nilai Parameter Marshall

→ Nilai KAO

45



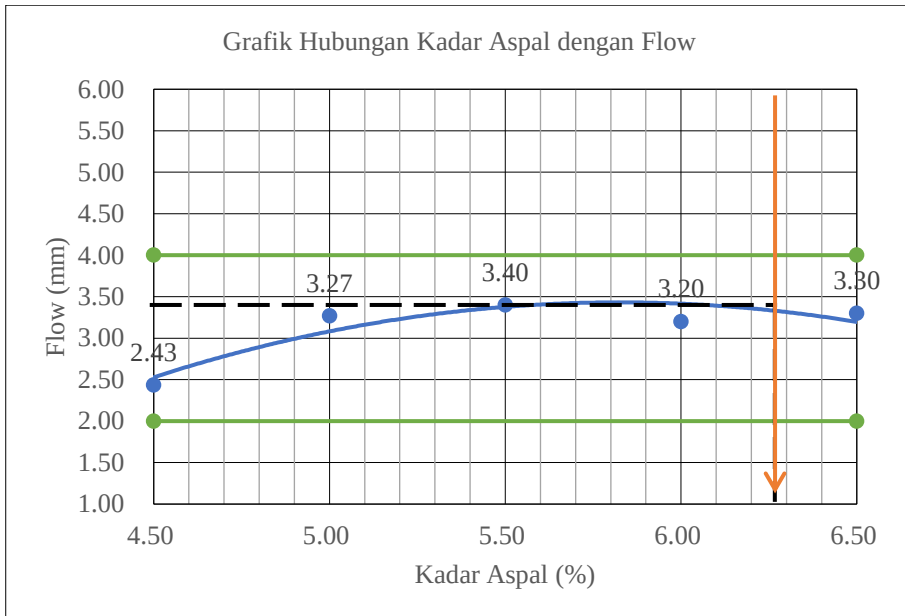
Gambar 4. 9 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density



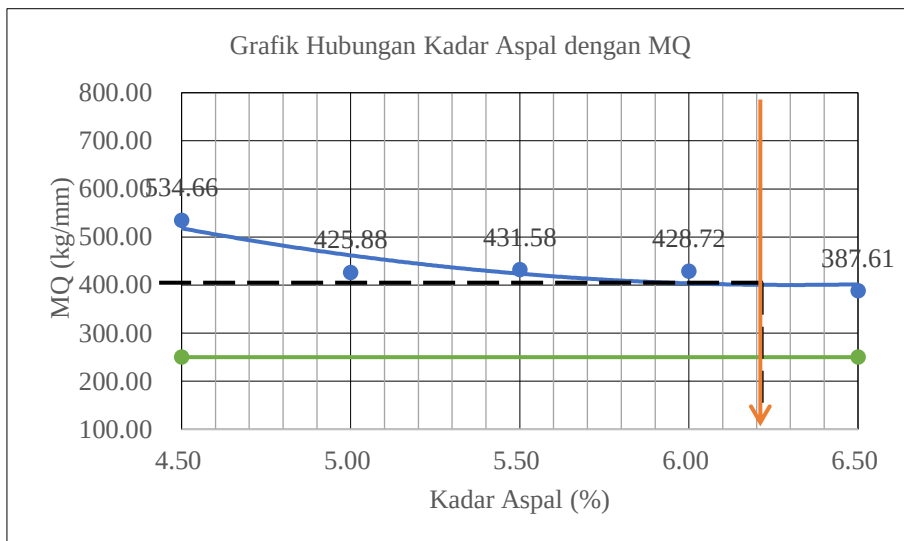
Gambar 4. 10 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



Gambar 4. 11 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow



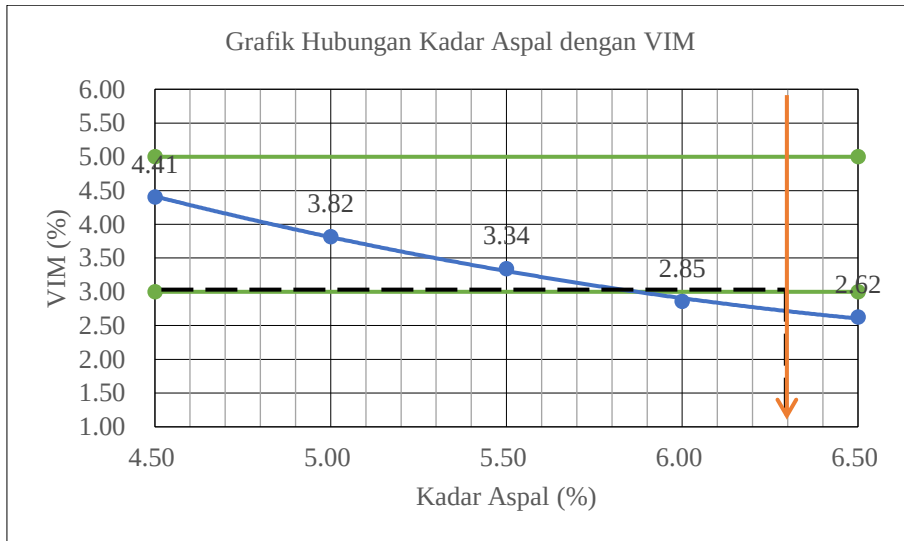
Gambar 4. 12 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ

Keterangan:

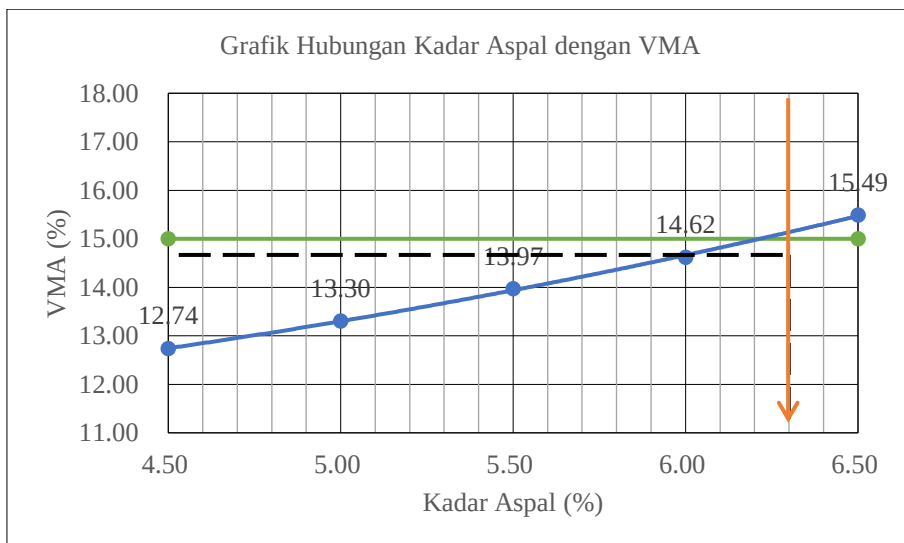
— — — Hasil

— Batas Nilai Parameter Marshall

→ Nilai KAO



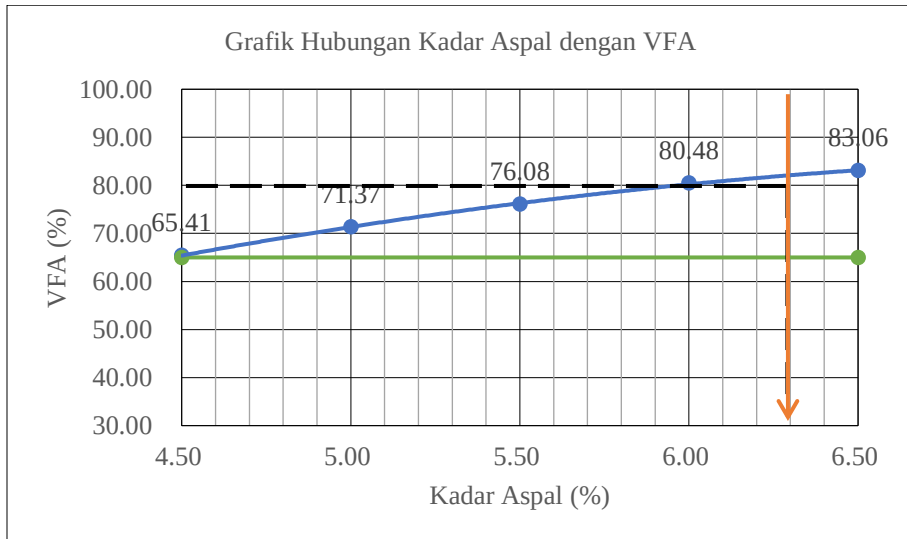
Gambar 4. 13 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM



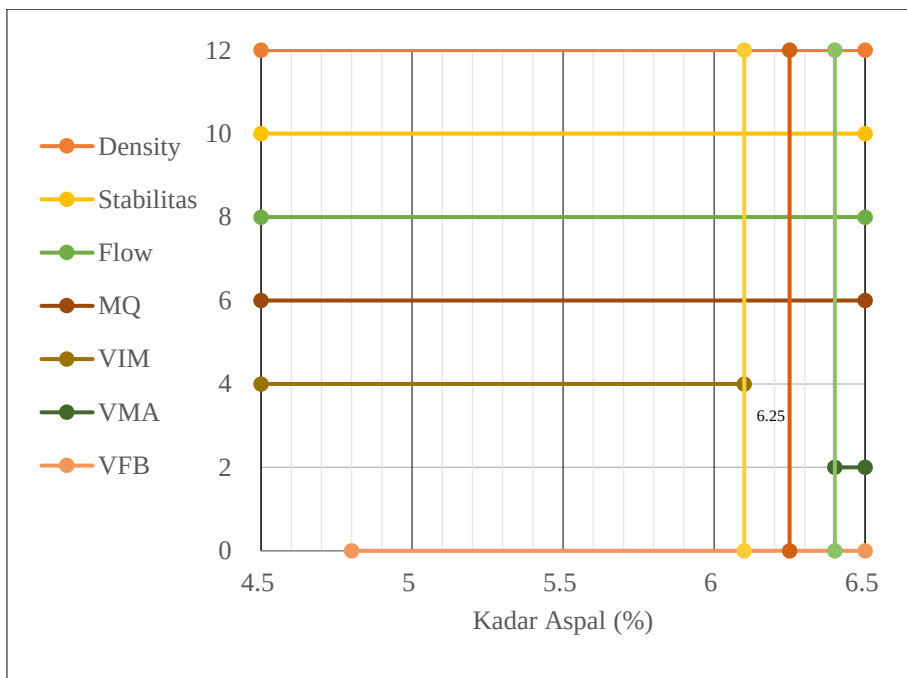
Gambar 4. 14 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA

Keterangan:

- — — Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- > Nilai KAO



Gambar 4. 15 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA



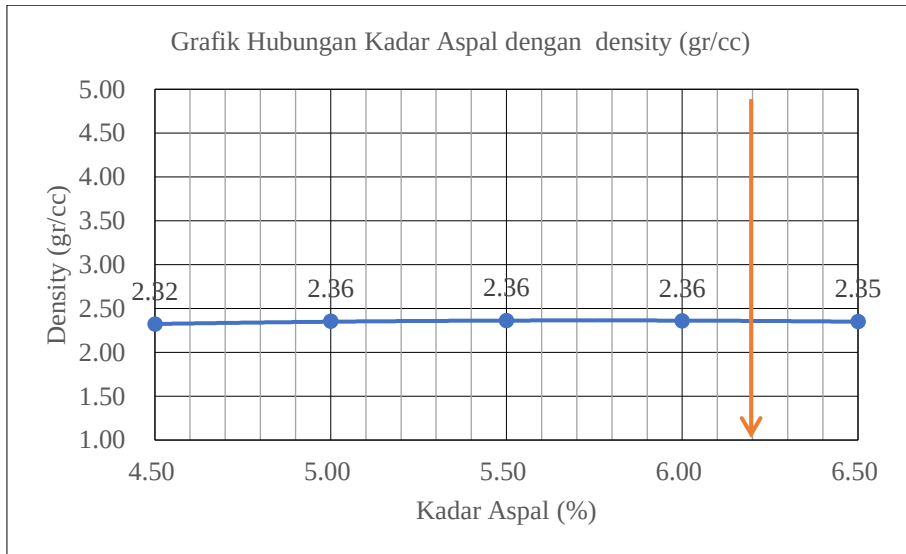
Gambar 4. 16 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 35% AC-WC

Keterangan:

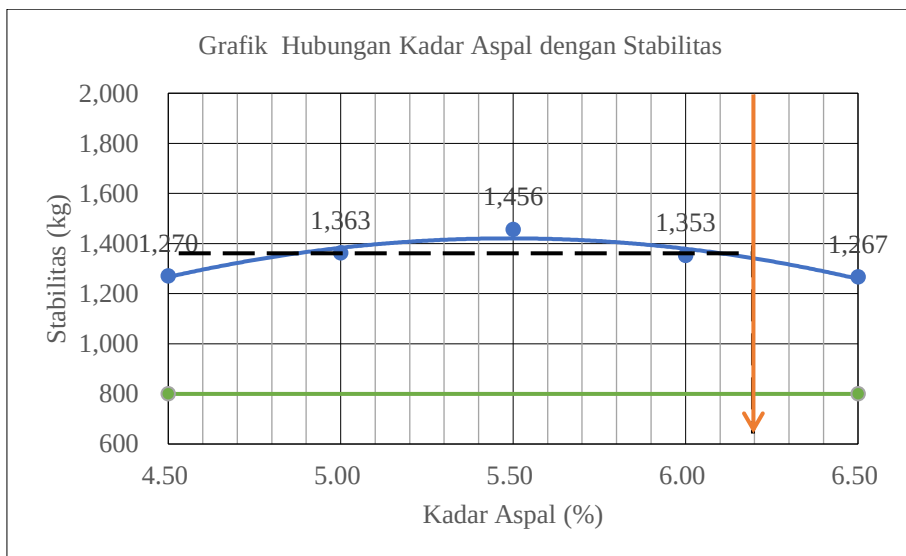
- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO

HASIL UJI MARSHALL
Bongkahan RAP 40 %

50



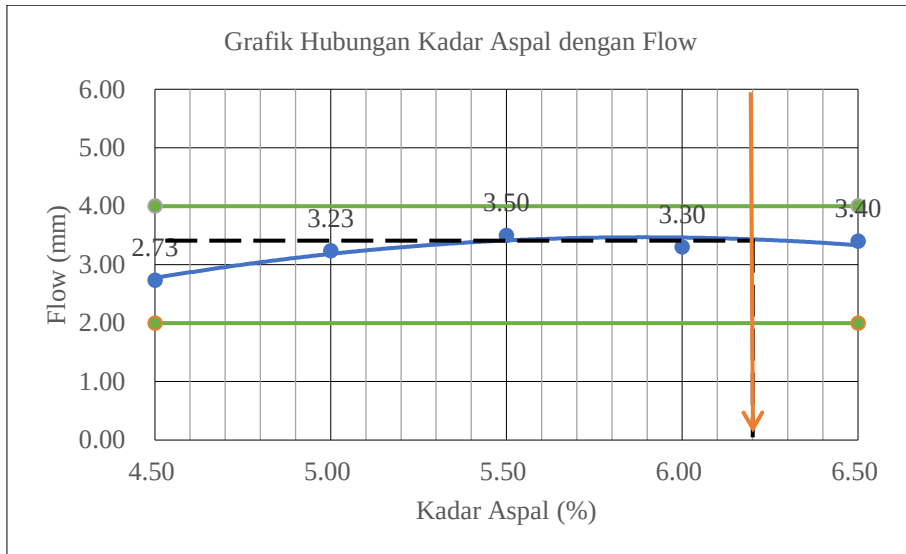
Gambar 4. 17 Grafik hubungan kadar aspal dengan Density



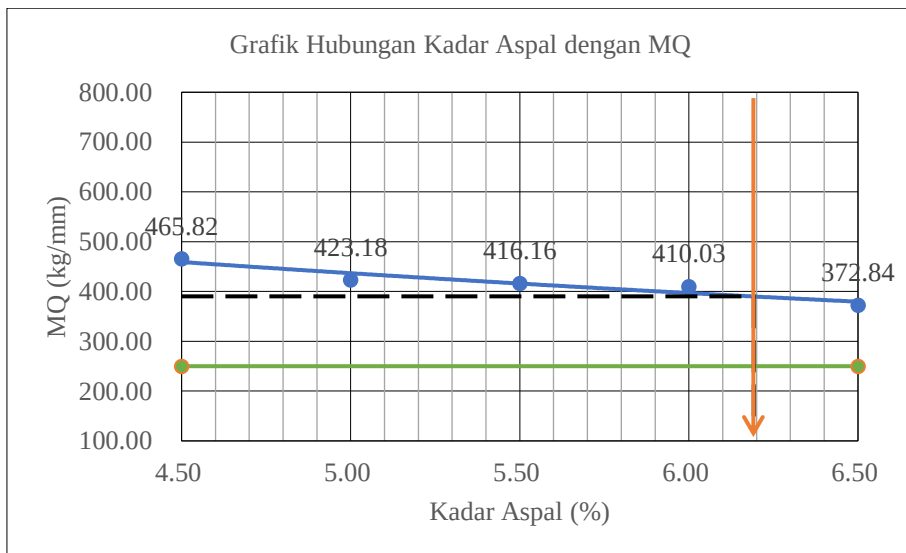
Gambar 4. 18 Grafik hubungan kadar aspal dengan Stabilitas

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



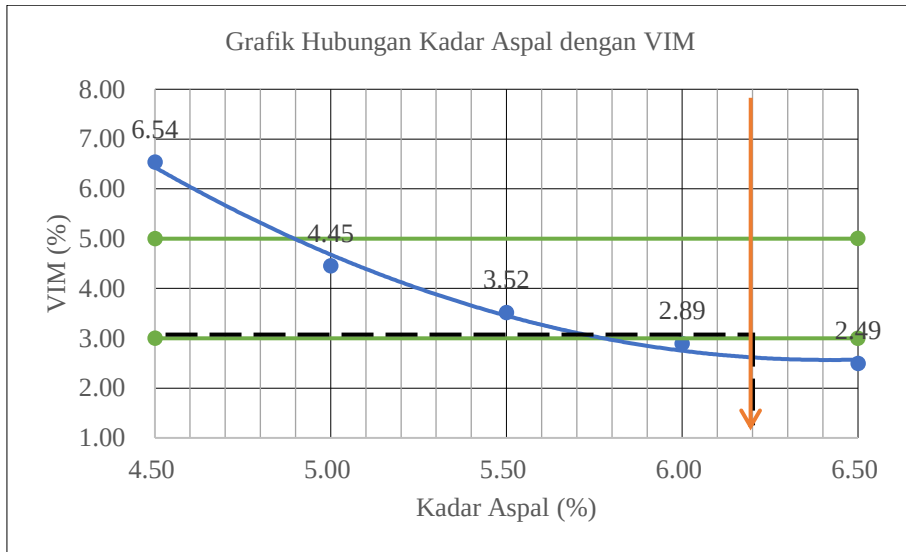
Gambar 4. 19 Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow



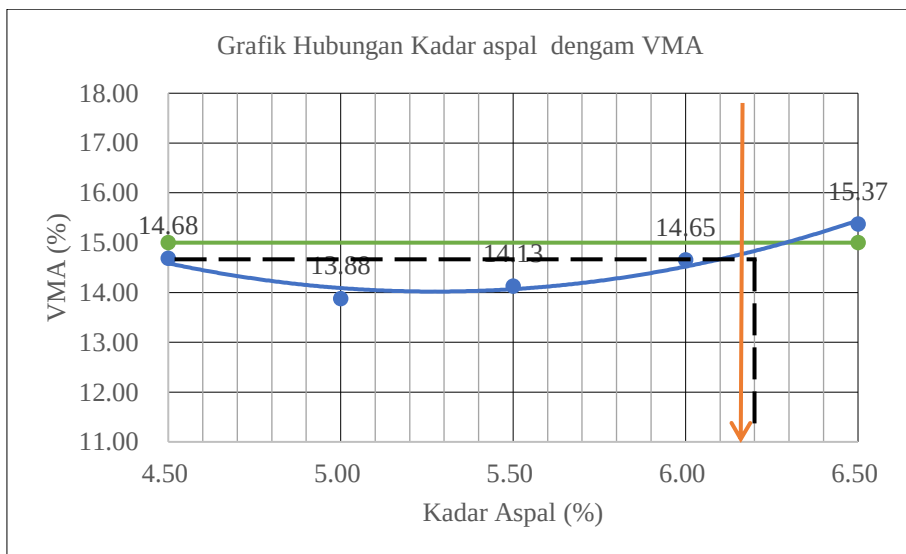
Gambar 4. 20 Grafik hubungan kadar aspal dengan MQ

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



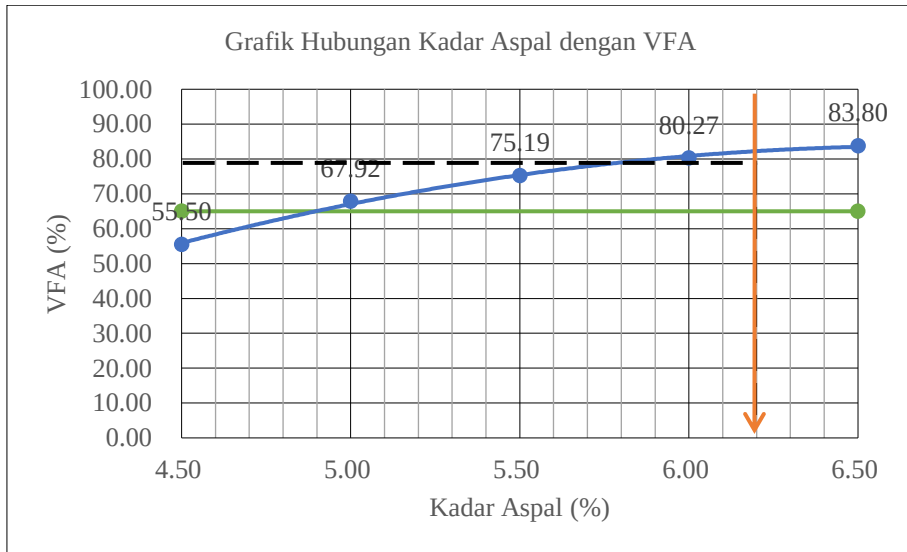
Gambar 4. 21 Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM



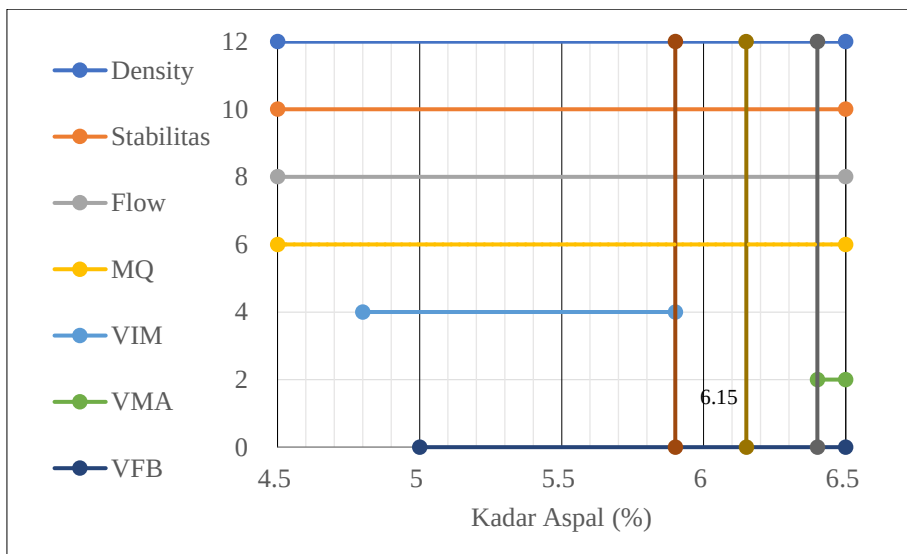
Gambar 4. 22 Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO



Gambar 4. 23 Grafik hubungan kadar aspal dengan VFA



Gambar 4. 24 Grafik Marshall Kadar Aspal Optimum RAP 40% AC-WC

Keterangan:

- Hasil
- Batas Nilai Parameter Marshall
- Nilai KAO

4.9 Hasil parameter uji Marshall pada campuran AC-WC dengan menggunakan RAP.

Dari pengujian Marshall diperoleh nilai Stabilitas, kekelehan (Flow), Rongga dalam campuran (VIM), rongga antara butiran agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), marshall quotient (MQ) dan nilai kadar aspal optimum (KAO) dari setiap variasi RAP seperti tabel 4.20.

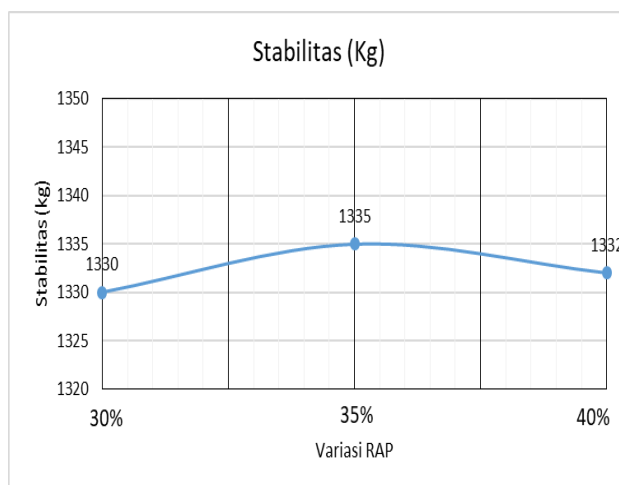
Tabel 4. 20 Nilai karakteristik campuran AC-WC

Kadar Campuran	30%	35%	40%	Spesifikasi AC-WC
Stabilitas (kg)	1130	1135	1132	Minimal 800
Flow (mm)	3	3,10	3,15	Minimal 2-4
VIM (%)	2,9	2,7	2,6	Minimal 3-5
VMA (%)	14,60	14,40	14,35	Minimal 15
VFA (%)	79	78	77,5	Minimal 65
MQ (kg/mm)	420	425	398	Minimal 250
KAO	6,1	6,25	6,15	

Dari tabel 4.20 dibuat analisis terhadap RAP dan nilai karakteristik Marshall sebagai berikut:

4.10 Hubungan RAP terhadap stabilitas

Nilai stabilitas rata-rata campuran AC-WC pada campuran dengan RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut adalah 1330kg, 1335kg, 1332kg sebagaimana grafik berikut.



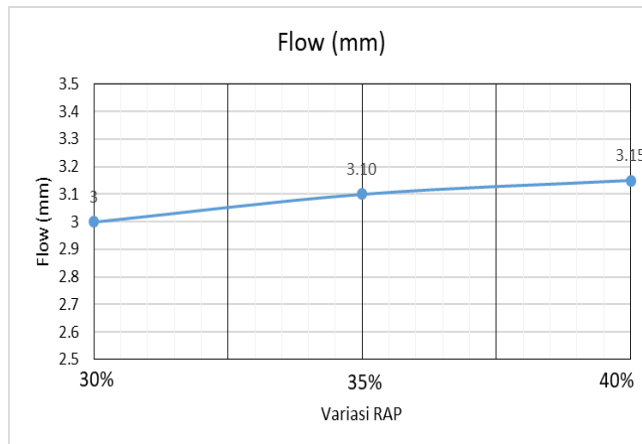
Gambar 4. 25 Grafik hubungan Stabilitas dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.25 menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan minimal 800kg, nilai stabilitas maksimum pada RAP 35% dengan stabilitas 1135kg.

Dengan demikian maka lapis perkerasan AC-WC substitusi jalan untuk menerima beban tanpa mengalami perubahan bentuk.

4.11 Hubungan RAP terhadap flow

Nilai flow rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut. 3 mm, 3,1 mm 3,15 mm sebagaimana grafik berikut.



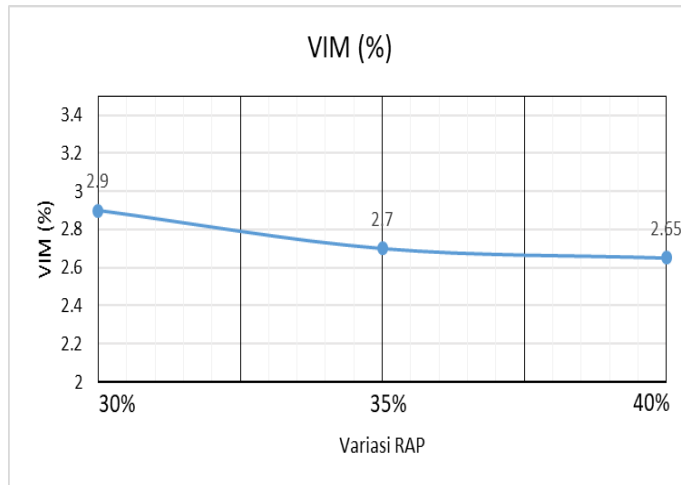
Gambar 4. 26 Grafik hubungan Flow dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.26 menunjukkan nilai flow yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan Minimal 2 - 4mm, nilai flow maksimum pada RAP 40% dengan stabilitas 3.15kg, terus meningkat dengan penambahan RAP.

Dengan demikian maka Kelelehan (flow) menunjukkan penurunan deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya dalam batas aman.

4.12 Hubungan RAP terhadap VIM

Nilai VIM rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut. 2,9 mm, 2,7 mm 2,65 mm sebagaimana grafik berikut.



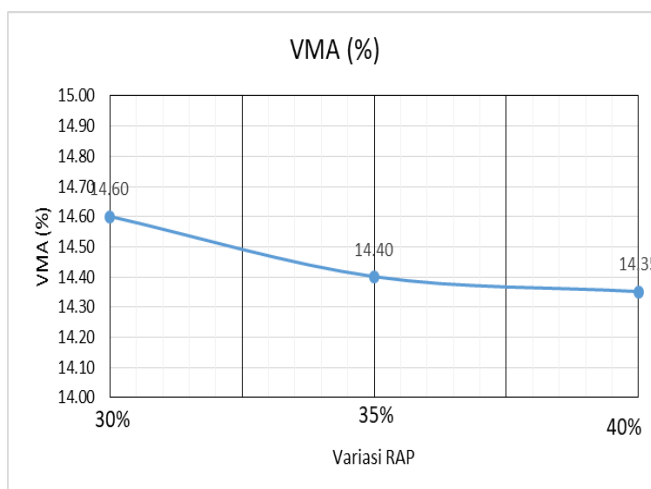
Gambar 4. 27 Grafik hubungan VIM dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.27 menunjukkan nilai rongga dalam campuran (VIM) yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% tidak memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan Minimal 3 – 5%, nilai VIM maksimum pada RAP 30% dengan VIM 2,9kg.

Dengan demikian maka Nilai rongga dalam campuran VIM semakin menurun seiring dengan penambahan bahan RAP, nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan.

4.13 Hubungan RAP terhadap VMA

Nilai VMA rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut 14,60%, 14,40%, 14,35% sebagaimana grafik berikut.



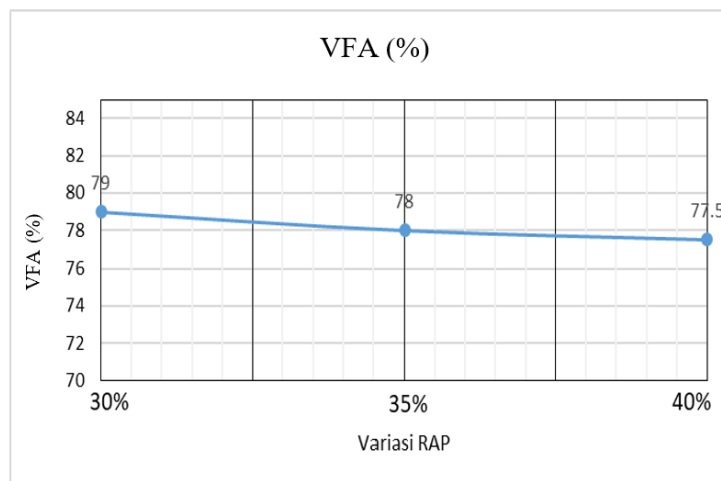
Gambar 4. 28 Grafik hubungan VMA dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.28 menunjukkan nilai rongga pada campuran agregat (VMA) yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% tidak memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan Minimal 15, nilai VMA maksimum pada RAP 30% dengan VIM 14,60kg.

Dengan demikian maka Nilai rongga pada campuran agregat VMA memberikan ruang yang cukup pada aspal agar dapat melekat pada agregat.

4.14 Hubungan RAP terhadap VFA

Nilai VFA rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut 79%, 78%, 77,5% sebagaimana grafik berikut.



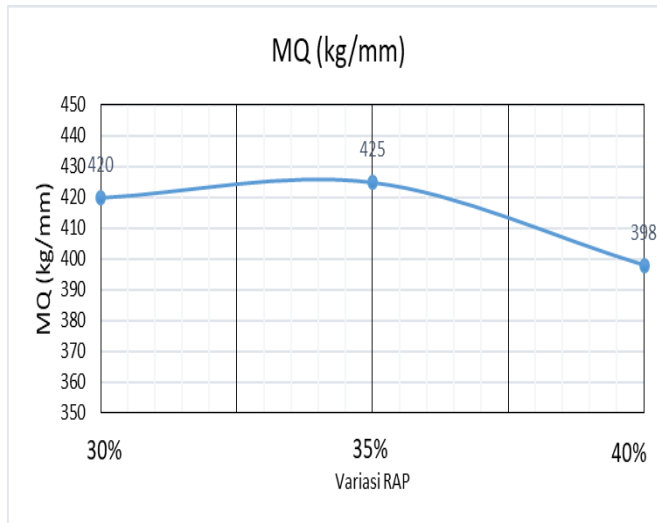
Gambar 4. 29 Grafik hubungan VFA dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.29 menunjukkan nilai rongga terisi aspal (VFA) yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan 65%, nilai VFA maksimum pada RAP 30% dengan VFA 79%.

Dengan demikian maka Nilai rongga terisi aspal VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga lapis perkerasan tidak tahan lama.

4.15 Hubungan RAP terhadap MQ

Nilai MQ rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP 30%, RAP 35%, dan RAP 40% berturut-turut 420kg/mm, 410kg/mm, 395kg/mm sebagaimana grafik berikut.



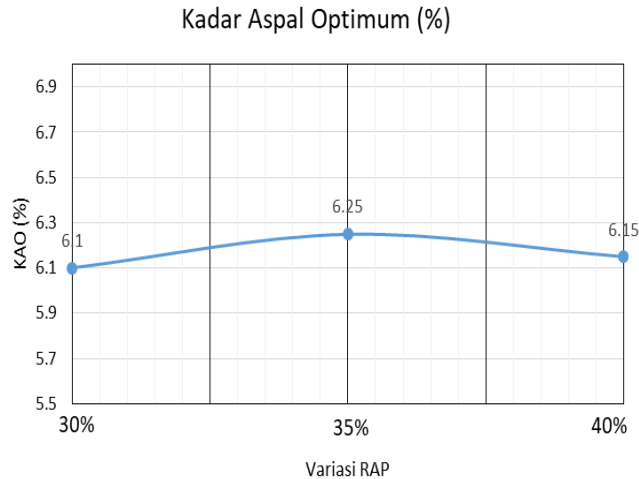
Gambar 4. 30 Grafik hubungan MQ dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.30 menunjukkan nilai Marshall Quotient (MQ) yang didapatkan dari RAP 30%, RAP 35%, RAP 40% memenuhi Spesifikasi dengan nilai yang ditetapkan minimal 250kg/mm, nilai MQ maksimum pada RAP 35% dengan MQ 425kg/mm.

Dengan demikian maka *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* maka campuran yang dihasilkan semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.

4.16 Hubungan RAP terhadap kadar aspal optimum

Dari hasil pengujian Marshall diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) masing masing variasi dari gambar 4.8, 4.16, dan 4.24 diketahui nilai KAO rata-rata campuran AC-WC pada campuran RAP30%, RAP35%, dan RAP 40% berturut-turut 6,1%, 6,25%, 6,15% sebagaimana grafik berikut.



Gambar 4. 31 Grafik hubungan KAO dengan variasi RAP

Dari grafik pada gambar 4.31 menunjukkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapatkan dari pengaruh penggunaan RAP sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran akan meningkatkan nilai kadar aspal optimum pada campuran aspal AC-WC. KAO optimum didapatkan pada campuran dengan variasi RAP 35% sebesar 6,25%

4.17 Nilai Indeks Kekuatan Sisa

Untuk memaksimalkan penggunaan material RAP, maka perhitungan nilai indeks kekuatan sisa dilakukan hanya terhadap nilai RAP dengan kadar 40%. Nilai indeks kekuatan sisa yang dibutuhkan sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah minimal 90%. Berikut adalah nilai indeks kekuatan sisa (IKS) yang didapatkan berdasarkan pengujian yang dilakukan.

Tabel 4. 21 Nilai Indeks Kekuatan Sisa

No	Variasi	Stabilitas rendaman 30 menit	Stabilitas rendaman 24 jam	Nilai durabilitas	Syarat	Keterangan
1	RAP 40%	1455,675	1350,652	92,79	Min.90	Memenuhi

Dari tabel 4.21 menunjukkan nilai kekuatan sisa (IKS) hasil Pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai pada perendaman memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dengan syarat yaitu minimal 90%.

Nilai indeks kekuatan sisa (IKS) nilai perendaman 30 menit 1350,652 dan nilai perendaman 24 jam 1455,675 didapatkan dari RAP 40% nilai kadar aspal 6,15% karena masih memenuhi spesifikasi.

4.18 Analisa Harga Satuan Pekerjaan AC-WC

4.18.1 Harga Satuan Material dan Peralatan

Dalam perhitungan analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) harus ditentukan nilai harga dasar masing-masing komponen seperti ditunjukkan pada tabel di bawah:

Tabel 4. 22 Harga satuan material

No.	Item	Satuan	Harga Satuan (Rp.)
1	Aspal	Kg	Rp 15.000
2	Semen / PC (kg)	Kg	Rp 1.500
3	S o l a r	Liter	Rp 23.705
4	Abu Batu(Agregat Pecah Mesin 0-5 mm)	M3	Rp 690.000
5	Agregat halus (Pecah Mesin 5-10 & 10-20 mm)	M3	Rp 690.000
6	Agregat kasar (Pecah Mesin 20-30 mm)	M3	Rp 690.000

Tabel 4. 23 Harga satuan peralatan

No	Item	Satuan	Harga Satuan (Rp.)
1	Asphalt Mixing Plant	Jam	Rp 14.604.671
2	Asphalt Finishet	Jam	Rp 524.496
3	Asphalt Sprayer	Jam	Rp 110.874
4	Compressor 4000-6500 L\M	Jam	Rp 276.047
5	Wheel Loader 1.0-1.6 M3	Jam	Rp 514.016
6	Tire Roller 8-10 T.	Jam	Rp 571.829

4.18.2. Data-data Dasar

1. Jarak rata-rata base camp ke Lokasi pekerjaan (L) = 25 Km
2. Tebal lapis AC-WC (t) = 0,04 m
3. Jam kerja efektif perhari (Tk) = 7 jam
4. Faktor kehilangan material agregat (Fh1) = 1,05
5. Faktor kehilangan material aspal (Fh2) = 1,03
6. Komposisi campuran AC-WC
 - a. Agregat 5-10 & 10-15 mm = 40%
 - b. Agregat 0-5 mm = 52%

- c. Semen = 1,70%
- d. Asphalt = 6,2%
- e. Anti stripping agent = 0,3%
- 5. Berat isi bahan
 - a. AC-WC (D1) = 2,30 Ton/3
 - b. Agregat 5-10&10-15 mm (D2) = 1,42 Ton/m³
 - c. Agregat 0-5 mm (D3) = 1,57 Ton/m³
 - d. Jarak stockpile ke cold bin (l) = 0,05 km

4.18.3. Analisa Koefisien

1. Bahan

Agr 5-10 & 10-15	= ("5-10&10-15" x Fh1) : D2	= 0,3549	m ³
Agr 0-5	= ("0-5" x Fh1) : D3	= 0,4173	m ³
Semen		= 17,00	Kg
Aspal		= 63,86	Kg

2. Alat

a. Wheel Loader

Kapasitas bucket	V = 1,50	M ³
Faktor bucket	Fb = 0,85	-
Faktor efisiensi alat	Fa = 0,83	-
Waktu Siklus = T1 + T2 + T3	Ts1 =	
- Kecepatan maju rata rata	Vf = 15,00	km/jam
- Kecepatan kembali rata rata	Vr = 20,00	km/jam
- Muat ke Bin		
= (l x 60) / Vf	T1 = 0,20	menit
- Kembali ke Stock pile = (l x 60)		
/ Vr	T2 = 0,15	menit
- Lain - lain (waktu pasti)	T3 = 0,75	menit
- Total waktu	TS1 = 1,10	menit
Kap. Produksi per jam (Q1) =	$\frac{V \times Fb \times Fa \times 60 \times Bip}{Ts1}$	= 104,48 Ton/jam
Koefisien Alat/ton	=1/Q1 =	0,0096 Jam

b. Asphalt Mixing Plant

Kapasitas produksi	V =	45.00	ton / Jam
Faktor Efisiensi alat	Fa =	0.83	-

Kap.Prod. / jam =	V x Fa	Q2 =	37.35	ton
-------------------	--------	------	-------	-----

Koefisien Alat/ton	= 1 : Q2 =	0.0268	Jam
---------------------------	------------	---------------	-----

C. Generator Set

Kap.Prod. / Jam = Sama dengan AMP	Q3 =	37.35	ton
Koefisien Alat/ton	= 1 : Q3	= 0.0268	Jam

d. Dump Truk

Kapasitas bak	V	=16.00	Ton
Faktor Efisiensi alat	Fa	= 0.80	-
Kecepatan rata-rata bermuatan	v1	= 30.00	KM / Jam
Kecepatan rata-rata kosong	v2	= 40.00	KM / Jam
Kapasitas AMP / batch	Q2b	= 1.00	ton
Waktu menyiapkan 1 batch AC-WC	Tb	= 0.62	menit
Waktu Siklus	Ts2		
- Mengisi Bak	= (V : Q2b) x Tb,	T1	= 9.96 menit
- Angkut	= (L : v1) x 60 menit,	T2	= 50.00 menit
- Tunggu + dump + Putar		T3	= 15.00 menit
- Kembali	= (L : v2) x 60 menit,	T4	= 37.50 menit
		Ts2	= 112.46 menit

Kap.Prod. / jam =	$\frac{V \times Fa \times 60}{Ts2}$	Q4	6.83	ton
Koefisien Alat/ton	= 1 : Q4	0.1464	Jam	

e. Asphalt Finisher

Kecepatan menghampar	V	5.00	m/menit
Faktor efisiensi alat	Fa	0.80	-
<u>Lebar hamparan</u>	b	3.15	meter

Kap.Prod. / jam = $V \times b \times 60 \times Fa \times t \times D1$ Q5 69.55 ton

Koefisien Alat/ton = 1 : Q5 **0.0144** Jam

f. Tandem Roller

Kecepatan rata-rata alat v 1.50 Km/Jam

Lebar efektif pemadatan b 1.50 M

Jumlah lintasan n 6.00 lintasan

Lajur lintasan N 3.00

Faktor Efisiensi alat Fa 0.80 -

Lebar Overlap bo 0.30 M

Apabila $N \leq 1$

Kap. Prod. / jam = $\frac{(v \times 1000) \times b \times t \times Fa \times D1}{n}$ Q6 0.00 ton

Apabila $N > 1$

Kap. Prod. / jam = $\frac{(v \times 1000) \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa \times D1}{n}$ 71.76

Koefisien Alat/ton = 1 : Q6 **0.0139** Jam

g. Pneumatic Tire Roller

Kecepatan rata-rata v 2.50 km/jam

Lebar efektif pemadatan b 1.99 M

Jumlah lintasan n 6.00 lintasan

Lajur lintasan N 3.00

Lebar Overlap bo 0.30 M

Faktor Efisiensi alat Fa 0.83 -

Kap.Prod./jam = $\frac{(v \times 1000) \times (N(b-bo)+bo) \times t \times Fa \times D1}{n}$ Q7 170.86 ton

Koefisien Alat/ton = 1 : Q7 **0.0059** Jam

3. Tenaga

Produksi menentukan : A M P Q2 37.35 Ton / Jam

Produksi AC-WC / hari	= Tk x Q2	Qt	261.45	Ton
Kebutuhan tenaga :				
- Pekerja		P	12.00	orang
- Mandor		M	1.00	orang

Koefisien Tenaga / ton :

- Pekerja	= (Tk x P) / Qt	0.3213	Jam
- Mandor	= (Tk x M) / Qt	0.0268	Jam

4.18.4. Analisa Harga Satuan

Tabel 4. 24 Analisa Harga Satuan AC-WC (tanpa RAP)

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1.	Pekerja	Jam	0,3213	21.900,00	7.036,47
2.	Mandor	Jam	0,0268	31.700,00	849,56
			JUMLAH HARGA TENAGA		7.886,03
B.	<u>BAHAN</u>				
1.	Agr 5-10 & 10-20	M3	0,3549	690.000,00	244.881,00
2.	Agr 0-5	M3	0,4173	690.000,00	287.937,00
3.	Semen	Kg	17,0000	1.500,00	25.500,00
4.	Aspal	Kg	63,8600	15.000,00	957.900,00
5.	Adiktif (Anti pengelupasan)	Kg	1,0100	30.000,00	30.300,00
			JUMLAH HARGA BAHAN		1.546.518,00
C.	<u>PERALATAN</u>				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0096	514.016,45	4.934,56
2.	AMP	Jam	0,0268	14.604.670,81	391.405,18
3.	Genset	Jam	0,0268	724.668,58	19.421,12
4.	Dump Truck	Jam	0,1464	813.252,01	119.060,09
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0144	524.495,79	7.552,74
6.	Tandem Roller	Jam	0,0139	500.325,89	6.954,53

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN Kuantitas	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
7	P. Tyre Roller	Jam	0,0059	571.829,45	3.373,79
8	Alat Bantu	Ls	1,0000	1.000,00	1.000,00
				JUMLAH HARGA PERALATAN	553.702,01
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				2.108.106,04

Tabel 4. 25 Analisa Harga Satuan AC-WC (dengan RAP)

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN Kuantitas	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
A.	<u>TENAGA</u>				
1.	Pekerja	Jam	0,3213	21.900,00	7.036,47
2.	Mandor	Jam	0,0268	31.700,00	849,56
				JUMLAH HARGA TENAGA	7.886,03
B.	<u>BAHAN</u>				
1.	Agr 5-10 & 10-20 (60%)	M3	0,2129	690.000,00	146.928,60
2.	Agr 0-5 (60%)	M3	0,2504	690.000,00	172.762,20
3.	Agr RAP 5-10 & 10-20 (40%)	M3	0,1420	0	0
4.	Agr RAP 0-5 (40%)	M3	0,1669	0	0
5.	Semen	Kg	17,0000	1.500,00	25.500,00
6.	Aspal	Kg	63,8600	15.000,00	957.900,00
7.	Adiktif (Anti pengelupasan)	Kg	1,0100	30.000,00	30.300,00
				JUMLAH HARGA BAHAN	1.333.390,80
C.	<u>PERALATAN</u>				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0096	514.016,45	4.934,56
2.	AMP	Jam	0,0268	14.604.670,81	391.405,18
3.	Genset	Jam	0,0268	724.668,58	19.421,12

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
4.	Dump Truck	Jam	0,1464	813.252,01	119.060,09
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0144	524.495,79	7.552,74
6.	Tandem Roller	Jam	0,0139	500.325,89	6.954,53
7	P. Tyre Roller	Jam	0,0059	571.829,45	3.373,79
8	Alat Bantu	Ls	1,0000	1.000,00	1.000,00
				JUMLAH HARGA PERALATAN	553.702,01
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				1.894.978,84

Dari Analisa diatas didapatkan nilai harga satuan pekerjaan AC-WC tanpa RAP adalah Rp. 2.108.106,04,- / Ton dan menggunakan RAP adalah Rp. 1.894.978,84,-/Ton sehingga terdapat selisih senilai Rp. 213.127,20,-/Ton atau sebesar 10%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC sebesar 40% karena RAP sampai 40% masih memenuhi semua spesifikasi yang telah ditetapkan.
2. Dari hasil penelitian Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dengan variasi 30%, 35% dan 40%.
 - a. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 30% didapatkan nilai stabilitas 1330kg, kelelehan (flow) 3mm, rongga dalam campuran (VIM) 2,9%, rongga campuran agregat (VMA) 14,60%, rongga terisi aspal (VFA) 79%, marshall Quotien (MQ) 420%, kadar aspal optimum yang dapat digunakan untuk RAP 30% adalah 6,1%.
 - b. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 35% didapatkan nilai stabilitas 1335kg, kelelehan (flow) 3,10mm, rongga dalam campuran (VIM) 2,7%, rongga campuran agregat (VMA) 14,40%, rongga terisi aspal (VFA) 78%, marshall Quotien (MQ) 425%, kadar aspal optimum yang dapat digunakan untuk RAP 35% adalah 6,25%.
 - c. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 40 % didapatkan nilai stabilitas 1332kg, kelelehan (flow) 3,15mm, rongga dalam campuran (VIM) 2,65%, rongga campuran agregat (VMA) 14,35%, rongga terisi aspal (VFA) 77,5%, marshall Quotien (MQ) 398%, kadar aspal optimum yang dapat digunakan untuk RAP 40% adalah 6,15%.
3. Nilai kekuatan (IKS) 92% dengan waktu perendaman 30 menit dan 24 jam perendaman di ambil dari variasi maksimum RAP 40% dengan kadar aspal 6,15% dikarenakan masih memenuhi spesifikasi yang ditentukan dan mendapatkan nilai indeks kekuatan sisa.

5.2. Saran

1. Harga satuan pekerjaan AC-WC tanpa RAP lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan RAP, namun AC-WC yang menggunakan RAP sebaiknya digunakan untuk pekerjaan preventif.
2. Dari hasil perhitungan dimana VIM, VFA, dan VMA tidak memenuhi spesifikasi, maka RAP sebaiknya digunakan untuk jalan dengan LHR rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Try Andilla, M. (2017). *Pengaruh Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Pada Perkerasan Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC)*. Universitas Andalas.
- Anindya Andana Ningrum., dan Yogie Risdianto. (2018). *Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler*. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18
- Ayudya Retno Wilis., dan Yogie Risdianto. (2018). *Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Lawele Granular Asphalt (LGA) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler*. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18
- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2* (Issue September). Direktorat Jenderal Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2018. *Spesifikasi Umum Divisi 6 Campuran Beraspal Panas*.
- Badan Standarisai Nasional, RSNI M 01-2003, *Metode Pengujian Campuran Beraspal dengan Alat Marshall*.
- Badan Standarisai Nasional, SNI 2417-2016, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*.
- Badan Standarisai Nasional, SNI 2434-2011, *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (ring and ball)*.
- Badan Standarisai Nasional SNI 2432-2011, *Cara Uji Penetrasi Aspal*.
- Badan Standarisai Nasional, SNI 2432-2011, *Metode Uji Daktilitas Aspal*.
- Badan Standarisai Nasional, SNI 2441-2011, *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Keras*.
- Iqbal, M. (2018). *Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Tipe Low Density Polyethylene (LDPE) pada Campuran Perkerasan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* (Issue 2). Universitas Andalas.

- Iduwin, T., Purnama, D. D., & Hidayawanti, R. (2020, November). *Uji Marshall Immersion Pada Campuran AC-WC Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. In *FORUM MEKANIKA* (Vol. 9, No. 2, pp. 42-51).
- La One., M.W. Tjaronge, Rita Irmawaty dan Muralia Hustim. (2020). *Effect of Buton Granular Asphalt Gradation and Cement As Filler on Performance of Cold Mix Asphalt Using Limestone Aggregate*. *Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 15, No. 1 (2020) 419-433
- Muhammad Fauzan., Sofyan M. Saleh dan M. Isya. (2019). *Modifikasi Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Buton Granular Asphalt (BGA) sebagai Bahan Substitusi*. *Journal of The Civil Engineering Student*, Vol.1. No.3, Desember 2019 (155-161).
- Pratama, A. (2017). *Study Penggunaan Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai bahan Campuran Untuk Lapisan Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*. Universitas Andalas
- Putri, Elsa Eka dan M. Agung Try Andilla. 2017. *Pemanfaatan Material Reclaimend Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Untuk Lapisan Asphalt Pavement Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Padang: Universitas Andalas.
- Purnama, R. A., & Iduwin, T. (2020). *Analisis Karakteristik Aspal Beton AC-WC Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement dan Bottom Ash* (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- Rindu Twidi Bethary., Bambang Sugeng Subagio, Harmein Rahman dan Nyoman Suaryana. (2019). *Effect of Slag and Recycled Materials on The Performance of Hot Mix Asphalt*. *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 26 No. 1, April 2019, Institut Teknologi Bandung, ISSN 0853-2982.
- SNI 06-2489-1991. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. In *SNI 06-2489-1991* (Issue 1, p. 7).
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Granit. Jakarta
- Wikantai, M. (2010). *Karakteristik Marshall pada Aspal Beton Campuran Hangat dengan Modifikasi Agregat-RAP dan Aspal-Residu Oli*. Universitas Sebelas Maret

LAMPIRAN

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat batu ½

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR				
Pengujian	Batu 1-2	Notasi	I	II
Berat Contoh Kering Oven		A	2905	2916
Berat kering permukaan jenuh		B	2939	2928
Berat benda uji dalam air		C	1899	1885
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B - C}$	A	2.793	2.796
			2.795	
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{B}{B - C}$	B	2.826	2.807
			2.817	
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	A	2.888	2.828
			2.858	
Penyerapan Air	$\frac{B - A}{A}$	B - A	1.170	0.412
			0.791	

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat chipping

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR				
pengujian	Chipping		I	II
Berat Contoh Kering Oven		A	1459	1465
Berat kering permukaan jenuh		B	1479	1484
Berat benda uji dalam air		C	931	936
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B - C}$	A	2.662	2.673
			2.668	
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{B}{B - C}$	B	2.699	2.708
			2.703	
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	A	2.763	2.769
			2.766	
Penyerapan Air (%)	$\frac{B - A}{A}$	B - A	1.371	1.297
			1.334	

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat Abu batu

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR				
			I	II
Berat Contoh Kering Permukaan (SSD)		1000	500	500
Berat Contoh Kering Oven		A	488	489
Berat Picnometer + Air (25 °C) Kalibrasi		B	669	669
Berat Picnometer + Air (25 °C) + Contoh (SSD)		C	979	968
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B + 1000 - C}$		2.568	2.433
			2.501	
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{1000}{B + 1000 - C}$		2.632	2.488
			2.560	
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{B + A - C}$		2.742	2.574
			2.658	
Penyerapan Air	$(1000-A) / A \times 100\%$		2.459	2.249
			2.354	

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat RAP

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR				
			I	II
Berat Contoh Kering Oven		A	2069	1948
Berat kering permukaan jenuh		B	2111	1985
Berat benda uji dalam air		C	1323	1255
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	A	2.626	2.668	
	B - C	2.647		
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	B	2.679	2.719	
	B - C	2.699		
Berat Jenis Semu	A	2.773	2.811	
	A - C	2.792		
Penyerapan Air (%)	B - A	2.030	1.899	
	A	1.965		

Pengujian abrasi batu ½

Batu 1-2		
Gradasi pemeriksaan		Jumlah putaran = putaran
ukuran saringan		
Lolos	Tertahan	
76,2(3")	63,5(2 1/2")	
63,5(2 1/2")	50.8(2")	
50,8(2")	36,1(1 1/2")	
36,1(1 1/2")	25,4(1")	
25,4(1")	19,1(3/4")	
19,1(3/4")	12,7(1/2")	2500
12,7(1/2")	9,52(3/8")	2500
9,52(3/8")	6.35(1/4")	
6,35(1/4")	4,75(No.4)	
4,75(No.4)	2,36(No.8)	
Jumlah berat		5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)		4200

Pengujian abrasi Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Bongkahan Aspal (RAP)		
Gradasi pemeriksaan		Jumlah putaran = putaran
ukuran saringan		
Lolos	Tertahan	
76,2(3")	63,5(2 1/2")	
63,5(2 1/2")	50.8(2")	
50,8(2")	36,1(1 1/2")	
36,1(1 1/2")	25,4(1")	
25,4(1")	19,1(3/4")	
19,1(3/4")	12,7(1/2")	2500
12,7(1/2")	9,52(3/8")	2500
9,52(3/8")	6.35(1/4")	
6,35(1/4")	4,75(No.4)	
4,75(No.4)	2,36(No.8)	
Jumlah berat		5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)		3157

Hasil pengujian Analisa Saringan Batu 1-2

NO. SARINGAN		SAMPEL NO. 1			SAMPEL NO. 2			RATA - RATA
		KUMULATIF			KUMULATIF			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	55	2.20	97.80	51	2.04	97.96	97.88
1/2"	12,7	1355	54.20	45.80	1442	57.68	42.32	44.06
3/8"	9,52	2041	81.64	18.36	2222	88.88	11.12	14.74
No.4	4,75	2245	89.80	10.20	2429	97.16	2.84	6.52
No.8	2,36	2269	90.76	9.24	2442	97.68	2.32	5.78
No.16	1,18	2313	92.52	7.48	2457	98.28	1.72	4.60
No.30	0,6	2366	94.64	5.36	2468	98.72	1.28	3.32
No.50	0,3	2408	96.32	3.68	2477	99.08	0.92	2.30
No.100	0,15	2451	98.04	1.96	2478	99.12	0.88	1.42
No.200	0,075	2480	99.20	0.80	2482	99.28	0.72	0.76
TOTAL WEIGHT:		2500.0 GRAM			2500.0 GRAM			

Hasil pengujian Analisa saringan chipping

NO. SARINGAN		SAMPEL NO. 1			SAMPEL NO. 2			RATA - RATA
		KUMULATIF			KUMULATIF			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	46	3.07	96.93	23	1.53	98.47	97.70
No.4	4,75	1196	79.73	20.27	1162	77.47	22.53	21.40
No.8	2,36	1484	98.93	1.07	1484	98.93	1.07	1.07
No.16	1,18	1489.00	99.27	0.73	1481.00	98.73	1.27	1.00
No.30	0,6	1491.00	99.40	0.60	1481.00	98.73	1.27	0.93
No.50	0,3	1492.00	99.47	0.53	1481.00	98.73	1.27	0.90
No.100	0,15	1493.00	99.53	0.47	1481.00	98.73	1.27	0.87
No.200	0,075	1494.00	99.60	0.40	1481.00	98.73	1.27	0.83
TOTAL WEIGHT:		1500.0 GRAM			1500.0			

Hasil pengujian Analisa saringan Abu batu

NO. SARINGAN		SAMPEL NO. 1			SAMPEL NO. 2			RATA - RATA
		KUMULATIF			KUMULATIF			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.4	4,75	20.00	2.00	98.00	24.00	2.40	97.60	97.80
No.8	2,36	208.00	20.80	79.20	241.00	24.10	75.90	77.55
No.16	1,18	544.00	54.40	45.60	570.00	57.00	43.00	44.30
No.30	0,6	749.00	74.90	25.10	760.00	76.00	24.00	24.55
No.50	0,3	825.00	82.50	17.50	833.00	83.30	16.70	17.10
No.100	0,15	921.00	92.10	7.90	924.00	92.40	7.60	7.75
No.200	0,075	962.00	96.20	3.80	963.00	96.30	3.70	3.75
TOTAL WEIGHT:		1000.0 GRAM			1000.0 GRAM			

Hasil pengujian Analisa saringan filler semen

NO. SARINGAN		SAMPEL NO. 1			SAMPEL NO. 2			RATA - RATA
		KUMULATIF			KUMULATIF			
Inch	mm	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	Gr. T.tahan	% T.Tahan	% Lolos	
2"	50,8	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	36,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1"	25,4	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/4"	19,1	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12,7	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9,52	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.4	4,75	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.8	2,36	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.16	1,18	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.30	0,6	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.50	0,3	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.100	0,15	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
No.200	0,075	6.24	2.08	97.92	6.12	2.04	97.96	97.94
TOTAL WEIGHT:		300.0 GRAM			300.0 GRAM			

Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian Berat Jenis aspal			
	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Picno + Tutup (A)	Gram	184.5	192
Picno + Tutup + air (B)	Gram	322.5	336.5
Picno + Tutup + Aspal (C)	Gram	258.5	256
Picno + Tutup + Aspal + air (D)	Gram	324	338.5
		1.02	1.03
Bj rata - rata:		1.026	

Hasil Pengujian Penentrasi Aspal

penetrasi suhu 25 C (5 cm per menit)	Sampel I	Sampel II
Pengamatan I (mm)	68	67.5
Pengamatan II (mm)	70	71
Pengamatan III (mm)	68	68
Jumlah	206	206.5
Rata rata per sampel (mm)	68.67	68.83
Rata rata (mm)	68.75	

Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

suhu (C)	waktu sampel		Titik Lembek (°C)	
	sampel I	sampel II	Sampel I	Sampel II
5	0	0		
10	4' 10"	4' 10"		
15	9' 08"	9' 08"		
20	11' 10"	11' 10"		
25	12' 44"	12' 44"		
30	13' 50"	13' 50"		
35	16' 10"	16' 10"		
40	17' 30"	17' 30"		
45	19' 00"	19' 00"		
50	20' 10"	20' 10"		
55	-	20'35"	50	51.2
Rata-rata			50.6	

Hasil Pengujian Daktilitas Aspal

Daktilitas suhu 25 ° C (5 cm per menit)	pembacaan pengukuran alat
Sampel 1	135
Sampel 2	130
Jumlah	265
Rata rata daktilitas	132.5