

TUGAS AKHIR
ANALISIS PENGARUH PENGGANTI *FILLER* DENGAN
BENTONIT TERHADAP KINERJA PERKERASAN
ASPAL

(Studi Penelitian)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH :

ALTA RICO IBNU
1907210061



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alta Rico Ibnu
Npm : 1907210061
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan
Bentonit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 September 2023

Dosen Pembimbing



M. Husin Gultom S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alta Rico Ibnu
Npm : 1907210061
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan Bentonit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan di terima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 September 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



M. Husin Gultom S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing I



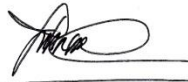
Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing II



Tondi Amiryan Putera S.T., M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Alta Rico Ibnu
Tempat/Tanggal Lahir : Patumbak,03 Juni 2001
NPM : 1907210061
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan Bentonit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal"

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non- material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 September 2023

Saya yang menyatakan,



Alta Rico Ibnu

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER DENGAN BENTONIT TERHADAP KINERJA PERKERASAN ASPAL

Alta Rico Ibnu
1907210061
M. Husin Gultom S.T, MT

Bentonit adalah istilah untuk lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok diokto hedral. Bentonit memiliki ciri khas, yaitu seperti lilin dan teksturnya seperti sabun. Penelitian ini menggunakan Bentonit sebagai pengganti *filler* Laston AC-WC dengan kadar *filler* 3%, 5% dan 7%. Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak dengan menggunakan 60 buah benda uji, 5 variasi kadar aspal dan 3 variasi persentase pengganti *filler* yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2. Karakteristik *marshall* yang ditinjau adalah *Bulk Density* (Kepadatan), *Stability* (Stabilitas), *Flow* (Kelelehan), VIM (*Void In Mix*), VFA (*Void Filled With Asphalt*), VMA (*Void In Mineral Aggregate*), MQ (*Marshall Quotient*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada Pengganti *filler* dengan Bentonit menurun dari campuran normal, sehingga daya ikat antara aspal dan agregat semakin menurun. Pengganti *filler* Bentonit paling efektif adalah variasi 7% dengan nilai *Bulk Density* sebesar 2,270 gr/cc, *Stability* sebesar 1148,76 kg, *Flow* sebesar 3,60 mm, VIM sebesar 3,88%, VFA sebesar 76,23%, VMA sebesar 16,19%, nilai MQ sebesar 333,24 kg/mm dan diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,25%.

Kata Kunci: Bentonit, Lapisan AC-WC, Agregat.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF REPLACING FILLER WITH BENTONITE ON ASPHALT PAVEMENT PERFORMANCE

(Research Study)

Alta Rico Ibnu
1907210061
M. Husin Gultom S.T, MT

Bentonite is the term for clay containing montmorillonite in the world of trade and belongs to the dioctohedral group. Bentonite has the characteristic that it is waxy and has a soap-like texture. This research uses Bentonite as a substitute for Laston AC-WC filler with filler levels of 3%, 5% and 7%. The method used in the research was an experimental method carried out at the PT Laboratory. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak using 60 test objects, 5 variations in asphalt content and 3 variations in filler replacement percentages which refer to the 2018 General Specifications for Bina Marga Revision 2.. The marshall characteristics reviewed are Bulk Density, Stability (Stability), Flow (Melt), VIM (Void In Mix), VFA (Void Filled With Asphalt), VMA (Void In Mineral Aggregate), MQ (Marshall Quotient). The results of this research show that the stability value of replacing filler with Bentonite decreases from the normal mixture, so that the binding capacity between asphalt and aggregate decreases. The most effective Bentonite filler substitute is the 7% variation with a Bulk Density value of 2,270 gr/cc, Stability of 1148.76 kg, Flow of 3.60 mm, VIM of 3.88%, VFA of 76.23%, VMA of 16.19%, the MQ value is 333.24 kg/mm and the Optimum Asphalt Content (KAO) value is 6.25%.

Keywords: *Bentonite, AC-WC Layer, Aggregate.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan Bentonit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, untuk itu pada kesempatan ini izinkanlah penulis untuk mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini sekaligus Ketua Prodi Teknik Sipil.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S T, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera S.T,. M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc, Ph.D., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Prodi Teknik Sipil yang ikut andil dalam proses administrasi penelitian.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Herman Ibnu dan Ibunda tercinta Marliana Nasution yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayang yang tidak ternilai kepada penulis.
10. Rekan-rekan seperjuangan dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang membangun untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi Dunia Konstruksi Teknik Sipil.

Medan, Saya yang menyatakan:

Alta Rico Ibnu

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	
HALAMAN PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	Viii
DAFTAR NOTASI	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Teoritis	3
1.5.1. Praktis	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aspal	5
2.2 Agregat	9
2.2.1. Agregat Kasar	9
2.2.2. Agregat Halus	10
2.2.3. Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	11
2.3 Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) dan Penyerapan	12
2.3.1. Berat jenis dan Penyerapan air agregat kasar	13
2.3.2. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus	14
2.4 Gradasi Agregat Gabungan	15
2.5 Laston	16

2.6	Bentonit	22
2.7	Pengujian Marshall	24
	2.7.1. Cara Uji Marshall	25
2.8	Penelitian Terdahulu	27
BAB 3	METODE PENELITIAN	28
3.1	Bagan Alir Penelitian	28
	3.1.1. Data Primer	29
	3.1.2. Data Sekunder	29
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3	Metode Penelitian	29
3.4	Bahan dan Peralatan	29
	3.4.1. Bahan	29
	3.4.2. Peralatan	30
3.5	Persiapan Material	31
3.6	Pemeriksaan Bahan Campuran	32
	3.6.1. Pemeriksaan Agregat	32
3.7	Pembuatan Benda Uji	33
3.8	Pengujian dengan Alat Marshall	34
3.9	Analisa Dan Pembahasan	36
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN	36
4.1	Pemeriksaan Aspal	36
4.2	Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat	36
4.3	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	43
4.4	Hasil Pemeriksaan terhadap Parameter Benda Uji	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	67
	5.1 Kesimpulan	67
	5.2 Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal	6
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2.3	Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2.4	Gradasi Gabungan	15
Tabel 2.5	Batas Batas Bahan Gradasi Senjang	15
Tabel 2.6	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	16
Tabel 2.7	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod)	17
Tabel 2.8	Angka Korelasi Beban	26
Tabel 2.9	Hasil Penelitian Terdahulu	27
Tabel 3.1	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar CA $\frac{3}{4}$	36
Tabel 3.2	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar MA $\frac{1}{2}$	37
Tabel 3.3	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus FA	37
Tabel 3.4	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Sand	38
Tabel 3.5	Hasil Pemeriksaan Semen	38
Tabel 3.6	Hasil Pemeriksaan <i>filler</i> Bentonit	39
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal	40
Tabel 4.2	Hasil Gradasi Agregat Normal	41
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Berat Agregat Benda Uji Normal	42
Tabel 4.4	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Bentonit 3%	43
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Berat Agregat Benda Uji Bentonit 3%	44
Tabel 4.6	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> CA $\frac{3}{4}$	45
Tabel 4.7	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> MA $\frac{1}{2}$	45
Tabel 4.8	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> FA	46
Tabel 4.9	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> Sand	47
Tabel 4.10	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> Semen	48
Tabel 4.11	Hasil Pengujian <i>Spec gravity</i> Bentonit	49
Tabel 4.12	Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Campuran Normal	52
Tabel 4.13	Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Campuran Pengganti <i>filler</i> Bentonit	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentonit	24
Gambar 2.2	Alat Pengujian Marshall	24
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal	40
Gambar 4.2	Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran Bentonit 3%	42
Gambar 4.3	Grafik Kadar Aspal Optimum KAO Normal	51
Gambar 4.4	Grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 3%	52
Gambar 4.5	Grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 5%	53
Gambar 4.6	Grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 7%	53
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran normal	54
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 3% Bentonit	54
Gambar 4.9	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 5% Bentonit	55
Gambar 4.10	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 7% Bentonit	55
Gambar 4.11	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg) Campuran Normal	56
Gambar 4.12	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg) Campuran Bentonit 3%	56
Gambar 4.13	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg) Campuran Bentonit 5%	56
Gambar 4.14	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg) Campuran Bentonit 7%	57
Gambar 4.15	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran	57
Gambar 4.16	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 3%	58
Gambar 4.17	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 5%	58
Gambar 4.18	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 7%	58
Gambar 4.19	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan	59

	Voids Filled (%) Campuran Normal	
Gambar 4.20	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 3%	60
Gambar 4.21	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 5%	60
Gambar 4.22	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 7%	60
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Campuran Normal	61
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 3%	61
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 5%	62
Gambar 4.26	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 7%	62
Gambar 4.27	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Normal	63
Gambar 4.28	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 3%	63
Gambar 4.29	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 5%	64
Gambar 4.30	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 7%	64
Gambar 4.31	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm) Campuran Normal	65
Gambar 4.32	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm) Campuran Bentonit 3%	65
Gambar 4.33	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm) Campuran Bentonit 5%	66
Gambar 4.34	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm) Campuran Bentonit 7%	66

DAFTAR NOTASI

AC	: <i>Asphalt Concrete</i>
AC-BC	: <i>Asphalt Concrete - Binder Course</i>
AC-WC	: <i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i>
B _a	: Berat aspal beton padat di dalam air (gr)
B _k	: Berat kering aspal beton (gr)
B _j	: Berat uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)
C	: Berat kering (gr)
D	: Berat benda uji jenuh (gr)
E	: Berat benda uji dalam air (gr)
F	: Volume benda uji (cc)
G	: Nilai kepadatan (gr/cc)
G _a	: Berat jenis aspal (gr/cc)
G _m	: Berat jenis <i>bulk</i> dari aspal beton padat (gr/cc)
G _{mm}	: Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)
G _{sb}	: Berat jenis curah (gr/cc)
G _{se}	: Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
IKS	: Indeks Kekuatan Sisa (%)
KAO	: Kadar Aspal Optimum (KAO)
MQ	: <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)
P	: Kalibrasi
P _a	: Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)
P _s	: Kadar agregat (%)
S	: Nilai stabilitas (Kg)
VFA	: Rongga terisi aspal (%)
VIM	: Rongga udara dalam campuran (%)
VMA	: Rongga dalam agregat mineral (%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aspal (Bitumen) adalah zat perekat material (Viscous Cementitious Material), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau pitch. Aspal bersifat termoplastis yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperature turun (Sukirman, 2007).

Beton Aspal (hotmix) adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampurkan di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal apa yang di gunakan (Silvia Sukirman, 2003). Persyaratan *filler* bahan pengisi yang di tambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila di uji pengayakan harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Bahan pengisi yang di tambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui Pengawas Pekerjaan. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal Pen 60/70 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Bentonit adalah istilah untuk lempung yang mengandung monmorilonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok dioktohedral. Penamaan jenis lempung tergantung dari penemu atau peneliti, missal ahli geologi, mineralogy, mineral industri dan lain-lain (Panjaitan, 2010). Bentonit dapat digunakan sebagai bahan adsorpsi karena memiliki kemampuan untuk mengembang dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan. Namun kemampuan adsorpsinya terbatas sehingga perlu diaktifkan dengan asam kuat untuk menghasilkan bentonit dengan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi. Penelitian ini menggunakan Ca-bentonit yang diaktifkan dengan menggunakan asam kuat HCl Ion (Daniel S Bath et al.,

2012). Bentonit merupakan lempung jenis smektif, yang kandungan utamanya monmorilonit dan sejumlah kecil mineral *non-clay* seperti kuarsa, kalsit, dolomite dan feldspar. Mineral monmorilonit merupakan partikel yang sangat kecil sehingga sangat sulit memperoleh data difraksi yang detail dan akurat.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi 3%, 5%, 7% kadar *filler* Bentonit pada lapisan AC-WC terhadap karakteristik marshall.
2. Berapa Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dibutuhkan pada masing masing penambahan variasi persentase 3%, 5%, 7% pengganti *filler* Bentonit dalam campuran aspal panas untuk lapisan AC-WC .

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak, Deli Serdang, Sumatera Utara.
2. Ketentuan bahan penelitian antara lain :
 - a. Aspal yang di gunakan pada penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70.
 - b. Kadar *filler* Bentonit yang di gunakan yakni 3%, 5%, 7%.
3. Bahan pengisi (*filler*) yang di gunakan adalah Bentonit.
4. Bahan pengisi yang di ganti Abu batu (FA).
5. Spesifikasi acuan dalam penelitian ini adalah menggunakan spesifikasi standard yang ditetapkan oleh Bina Marga Khususnya spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
6. Pengujian yang di lakukan meliputi analisi pengujian sifat fisik kekuatan aspal sesuai sni dan uji marshall.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai karakteristik Marshall yang menggunakan variasi 3%, 5%, 7% kadar *filler* Bentonit pada lapisan AC-WC yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dibutuhkan pada masing masing penambahan variasi persentase 3%, 5%, 7% pengganti *filler* Bentonit dalam campuran aspal panas untuk lapisan AC-WC .

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Teoritis

1. Memberikan pemahaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh Bentonit terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal beton AC-WC.
2. Mengembangkan pengetahuan mengenai dunia konstruksi khususnya lapisan perkerasan jalan yaitu mengenai karakteristik Marshall.

1.5.2. Praktis

1. Memberikan solusi dalam pemanfaatan Pengganti *filler* menggunakan Bentonit.
2. Mengetahui nilai uji Marshall dengan penggunaan Pengganti *filler* menggunakan Bentonit dalam campuran aspal beton AC-WC.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN :

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan batasan masalah penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA :

Bab landasan teori merupakan tinjauan pustaka, menguraikan teori yang mendukung judul penelitian, dan mendasari pembahasan secara detail.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan mengenai langkah-langkah pengerjaan skripsi secara detail, dan menjelaskan spesifikasi penelitian bentonit.

BAB 4 HASIL PEMBAHASAN

Hasil dari laporan penelitian berisikan langkah-langkah pengolahan data secara tahap demi tahap (step by step) dalam mengerjakan penelitian. Pembahasan secara sistematis dan disertai dengan argumentasi yang memiliki dasar referensi data-data yang valid.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk perbaikan sistem pada penelitian yang dibahas.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal adalah material yang pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika di panaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2007).

Berdasarkan bentuknya, aspal dapat di bedakan dalam 3 jenis yaitu :

1. Aspal padat

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika di panaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum di gunakan sebagai bahan pengikat agregat.

2. Aspal cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan aspal yang di cairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi :

- a. Rapid curing cut asphalt (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
- b. Medium curing cut back asphalt (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
- c. Slow curing back asphalt (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang di lakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair. Di dalam aspal, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal yang saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut di beri muatan listrik.

Berdasarkan muatan listrik yang di kandunginya, aspal emulsi dapat di bedakan atas :

- a. Aspal kationik di sebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
- b. Aspal anionic disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negative.
- c. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat di bedakan atas :

- a. Rapid setting (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal cepat menjadi padat atau keras kembali.
- b. Medium setting (MS)
- c. Slow setting (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.

Table 2.1 menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2 bahan aspal untuk campuran beraspal adalah :

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG 70	PG 76
1.	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456: 2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2.	Temperatur yang menghasilkan geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 ras/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Visikositat Kinematis 135 °C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG 70	PG 76
5.	Daktalitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titim Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9.	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2,2	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SN1-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :					
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktalitas pada 25°C (% semula)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100 °C dan tekanan 2,1 Mpa					
15.	Temperatur yang menghasilkan ($G^* \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Catatan :

1. Pengujian semua sifat-sifat harus di laksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan untuk aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal dengan penetrasi ≤ 50 adalah ± 2 (0,1 mm), masing-masing dari nilai penetrasi yang di laporkan saat pengujian semua sifat sifat aspal keras.

2. Pengujian semua sifat-sifat harus di laksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan titik lembek adalah $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dari nilai titik lembek yang di laporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
3. Viskositas diuji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100°C dan 170°C untuk menetapkan temperatur yang akan di tetapkan.
4. Jika untuk pengujian viskositas tidak dilakukan sesuai dengan AASHTO T201-15 maka hasil pengujian harus di konversikan ke satuan cSt.

Selain itu, menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2, jenis campuran beraspal dibedakan dalam :

1. Stone Matrix/Mastic Asphalt (SMA)
Stone Matrix Asphalt (SMA) Stone Matrix Asphalt selanjutnya disebut SMA, terdiri dari tiga jenis: SMA Tipis; SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan aspal modifikasi disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi dan SMA Kasar Modifikasi.
2. Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet, HRS)
Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Fondasi (HRS-Base) dan HRS Lapis Aus (HRS Wearing Course, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS-WC.
3. Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete, AC)
Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapis Aus (AC-WC); AC Lapis Antara (AC-BC) dan AC Lapis Fondasi (AC-Base), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC

menggunakan bahan aspal modifikasi disebut masing masing sebagai AC-WC Modifikasi AC-BC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi.

2.2. Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan abu batu. Agregat juga merupakan salah satu komponen utama sebagai campuran untuk perkerasan yang membentuk suatu kombinasi yang seimbang sebagai pembentuk campuran beraspal, beton maupun mortar.

Selain itu agregat juga diklasifikasikan berdasarkan ukuran butirannya menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2 yaitu :

- a. Agregat kasar, yakni yang tertahan saringan No. 4.
- b. Agregat halus, yakni yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200.
- c. Bahan pengisi atau *filler*, termasuk agregat halus yang sebagian besar lolos saringan No. 200.

2.2.1. Agregat Kasar

Menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2 agregat kasar adalah :

- a) Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras. Awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang di berikan dalam table 2.2.
- b) Fraksi agregat harus dari batu pecah dan di arsipkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada table 2.2.
- c) Agregat kasar mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam tabel 2.2. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012.

- d) Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus di pasok ke intalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Table 2.2: Ketentuan Agregat Kasar Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat		Magnesium sulfat	SNI 2414:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2414:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya.	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butir pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7519:2012	100/90
		Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandinga 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	

Catatan :

- a) 100/90 menunjukkan bahwa 100 % agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih
- b) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.2.2. Agregat Halus

Menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2 Agregat Halus yakni :

- a. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,47 mm).
- b. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
- c. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke intalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung (*cold bin feeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentasi pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.
- d. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.
- e. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Table 2.3: Ketentuan Agregat Halus (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-19997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

2.2.3. Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan mineral non plastis, kering, dan bebas dari gumpalan-gumpalan serta bila diuji dengan pengayakan basah harus mengandung bahan yang lolos saringan No. 200 dan berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar butiran agregat.

Menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2, bahan pengisi (*filler*) adalah:

- a) Bahan pengisi yang di tambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui Pengawas Pekerjaan. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal Pen 60/70.
- b) Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (*75 micron*) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
- c) Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat. Khusus untuk SMA tidak di batasi kadarnya tetapi tidak boleh menggunakan.

2.3. Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan Penyerapan

Berat jenis suatu agregat merupakan perbandingan massa dari suatu campuran volume pada bahan terhadap massa air dengan volume yang sama pada temperatur 20°C-25°C (68°-77°F). Ada beberapa macam berat jenis, yaitu ;

- a. Berat jenis kering (*bulk specific gravity*), ialah perbandingan antara berat satuan volume agregat (termasuk rongga yang berada didalam butir partikel, tetapi tidak termasuk rongga diantara butiran partikel) terhadap berat di udara dan air suling bebas gelembung dalam volume dan temperatur yang sama.
- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), ialah perbandingan antara berat dari satuan volume dari agregat (termasuk air yang berada didalam rongga akibat perendaman selama 15 jam-19 jam, tetapi tidak termasuk rongga di antara butiran partikel) terhadap berat di udara dan air suling bebas gelembung dalam volume dan temperatur yang sama.
- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), ialah perbandingan antara berat dari satuan volume pada bagian yang impermeable terhadap berat diudara dari air suling bebas gelembung dalam volume dan temperatur yang sama

2.3.1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Adapun alat dan prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 03-1969-1990 (Badan Standarisasi Nasional, 1990). Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

- Berat jenis kering (*Bulk specific gravity*)

Berat jenis kering (S_d) di hitung dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$\text{Berat jenis kering } (S_d) = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated surface dry*)

Berat jenis kering permukaan jenuh (S_s) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh } (S_s) = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

- Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

Berat jenis semu dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

- Penyerapan Air (*Absorsi*)

Penyerapan air (A_w) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Penyerapan air } (A_w) = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Dengan :

B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

B_j = Berat uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)

B_a = Berat uji dalam air (gr)

2.3.2. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Adapun alat dan prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan (SNI 03-1970-1990, 1990). Berat jenis dan penyerapan air agregat halus dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

- Berat jenis kering (*Bulk specific gravity*)

Berat jenis kering (S_d) di hitung dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$\text{Berat jenis kering } (S_d) = \frac{B_k}{B_j + 500 - B_a}$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated surface dry*)

Berat jenis kering permukaan jenuh (S_s) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh } (S_s) = \frac{500}{B_j + 500 - B_a}$$

- Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

Berat jenis semu dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_j + B_k - B_a}$$

- Penyerapan Air (*Absorsi*)

Penyerapan air (A_w) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$\text{Penyerapan air } (A_w) = \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Dengan :

B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

B_j = Berat uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)

B_a = Berat uji dalam air (gr)

2.4. Gradasi Agregat Gabungan

Menurut spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4.

Untuk memperoleh gradasi HRS-WC atau HRS-Base yang senjang, maka paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Bilamana gradasi yang diperoleh tidak kesenjangan yang disyaratkan dalam Tabel 2.4 di bawah ini, Pengawas Pekerjaan dapat menerima gradasi tersebut asalkan sifat-sifat campurannya memenuhi ketentuan yang disyaratkan (Bina Marga, 2018) Revisi 2

Tabel 2.4: Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,60	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,30	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	1,15						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Table 2.5 Batas Batas Bahan Gradasi Senjang Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% lolos no.8	40	50	60	70
% lolos no.30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% Kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

2.5. Laston

Lapisan aspal beton (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Safariadi et al., 2018).

Menurut Spesifikasi Umum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2 sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu :

1. Laston sebagai lapisan aus, disimbolkan dengan AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) dengan tebal nominal minimum 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara, disimbolkan dengan AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) dengan tebal nominal minimum 6 cm.
3. Laston sebagai fondasi, disimbolkan dengan AC-Base (Asphalt Concrete-Base) dengan tebal nominal minimum 7,5 cm (Bina Marga, 2018).

Selain itu , Bina Marga 2018 juga memberikan persyaratan laston dalam lapis pekerasan yang dapat dilihat pada table 2.6 dan table 2.7. Tabel 2.6: Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1.6		

Tabel 2.6. Lanjutan

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
		5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Table 2.7 : Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) Revisi 2.

Sifat-Sifat Campuran		Lapisan Modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah Tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%)	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	1000		2250 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan /mm ⁽⁷⁾	Min	2500		

Catatan :

1. Penentuan VCmix dan VCAdrc sesuai AASTHO R46-08(2012).
VCmix : *voids in course aggregate within compacted mixture.*
VCAdrc : *voids in coarse aggregate fraction in dry-rodded condition.*
2. Pengujian draindown sesuai AASHTO T305-14.
3. Modifikasi Marshall.
4. Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
5. Direksi pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-14 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengondisian beku cair (freeze thaw conditioning) tidak diperlukan. Nilai Indirect Tensile Strength Retained (ITSR) minimum 80% pada VIM (Rongga dalam campuran) $7\% \pm 0,5\%$. Untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$ buatlah benda uji marshall dengan variasi tumbukan pada kadar aspal optimum, misal 2x40, 2x50, 2x60 dan 2x75 tumbukan. Kemudian dari setiap benda uji tersebut, hitung nilai VIM dan buat hubungan antara jumlah tumbukan dan VIM. Dari grafik tersebut dapat diketahui jumlah tumbukan yang memiliki nilai VIM $7\% \pm 0,5\%$ kemudian lakukan pengujian ITSR untuk mendapatkan *Indirect Tensile Strength Ratio* (ITSR) sesuai SNI 6753:2008 atau AASTHO T283-14 tanpa pengondisian $18 \pm 3^\circ\text{C}$.
6. Untuk menentukan kepadatan membal (refusal), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (vibratory hammer) agar pecahnya butiran agregat dalam tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
7. Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) harus dilakukan pada temperature 60°C , prosedur pengujian harus mengikuti seperti pada *Technical Guideline for Pavement Design and Construction*, Japan Road Association (JRA 2005).

Rumus Rumus.

1. Berat jenis bulk aspal beton padat (G_{mb})

G_{mb} dapat diukur dengan menggunakan:

$$G_{mb} = \frac{Bk}{B_{ssd} - B_a} \quad (2.8)$$

Keterangan:

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Bk : Berat kering aspal beton (gr)

B_{ssd} : Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah dipadatkan (gr)

B_a : Berat aspal beton padat di dalam air (gr)

2. Berat Jenis Maksimum Campuran (G_{mm})

G_{mm} merupakan berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium. G_{mm} dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{ps}{G_{se}} + \frac{pa}{G_a}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

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

P_a : Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)

G_{se} : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

G_a : Berat jenis aspal (gr/cc)

3. Kepadatan

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran beraspal setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai kepadatan campuran beraspal maka semakin baik kepadatan campuran aspal tersebut, karena campuran beraspal juga akan memiliki daya dukung yang besar. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut:

$$g = \frac{c}{f} \quad (2.10)$$

$$f = d - e \quad (2.11)$$

Keterangan:

g : nilai kepadatan (gr/cc)

c : berat kering / sebelum direndam (gr)

d : berat benda uji jenuh air (gr)

e : berat benda uji dalam air (gr)

f : volume benda uji (cc)

4. Rongga Antar Agregat (VMA)

Voids In The Minerals Aggregate (VMA) adalah banyaknya pori-pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat dinyatakan dalam persentase dari volume campuran beton aspal (Sulianti et al., 2019). Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan persamaan berikut:

$$VMA = \left(100 \frac{G_{mb} \times p_s}{G_{sb}} \right) \% \quad (2.12)$$

Keterangan:

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

G_{sb} : Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

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

G_{mb} : Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

Atau jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat agregat, maka VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + p_b} \quad (2.13)$$

Keterangan:

P_b : Aspal, persen berat agregat

G_{mb} : Berat jenis curah campuran padat

G_{sb} : Berat jenis curah agregat

5. Rongga Udara (VIM)

Voids In The Mix (VIM) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat (Sulianti et al., 2019). Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus beri

$$VIM = 100 \times \frac{Gmb}{Gmm} \% \text{ volume Bulk Beton aspal padat} \quad (2.14)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara dalam beton aspal padat, persen dari volume bulk beton aspal padat (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc) 5)

6. Void Filled with Asphalt (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) Rongga terisi aspal / Void Filled with Asphalt (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat (Suhardi, 2016). Nilai VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFA = \left(\frac{100 - (VMA - VIM)}{VMA} \right) \quad (2.15)$$

Keterangan:

VFA : Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA : Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM : Rongga udara dalam campuran padat, persen dari toral volume

7. Kelelehan (flow)

adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh, yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Nilai kelelehan yang tinggi memberikan ciri campuran yang plastis disebabkan kelelehan aspal (Hamzah et al., 2016). Nilai kelelehan ditunjukkan oleh jarum dial tepat setelah angka jarum dial pada stabilitas tidak bergerak lagi dan dinyatakan dalam millimeter.

8. Stabilitas (stability)

Didalam campuran beton aspal yang paling utama adalah cukupnya stabilitas yang dapat menahan deformasi dan kelelahan plastis yang diakibatkan oleh beban statis dan dinamis oleh lalu lintas sehingga tidak layak menimbulkan bekas roda, keriting dan penurunan atau kenaikan pada permukaan perkerasan jalan (Hamzah et al., 2016). Stabilitas merupakan kemampuan campuran beraspal untuk dapat menahan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas diperoleh sesuai dengan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai yang stabil, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu di konversikan ke alat Marshall.

Stabilitas dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$S = p \times q \times r \quad (2.16)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Kalibrasi

q : Pembacaan dial Marshall

9. Hasil Bagi Marshall (Marshall Quotient)

Marshall Quotient perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis yang dinyatakan dalam KN/mm (Hamzah et al., 2016). Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal sangat kaku dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Sehingga rendahnya nilai MQ dapat berakibat alur dan bleeding. Berikut rumus menentukan Marshall Quotient:

$$MQ = \frac{\text{stability}}{\text{flow}} \quad (2.17)$$

Keterangan: MQ : Marshall Quotient (kg/mm)

2.6. Bentonit

Indonesia memiliki sumber daya alam mineral yang tersebar di beberapa propinsi dengan jumlah yang cukup besar. Salah satu mineral yang banyak terdapat di Indonesia adalah lempung. Lempung diklasifikasikan berdasarkan

komponen mineralnya, yaitu montmorillonit, kaolinit, halosit, krolit, dan illit (Wiley, 1977). Montmorillonit merupakan kelompok mineral filosilikat yang paling banyak menarik perhatian karena memiliki kemampuan untuk mengembang serta memiliki kapasitas penukar kation yang tinggi sehingga ruang antar lapis montmorillonit mampu mengakomodasi kation dalam jumlah besar (Lubis, 2007). Bentonit merupakan salah satu jenis lempung yang mempunyai kandungan utama mineral smektit (montmorillonit) dengan kadar 85-95% (Darmadinata et al., 2019). Bentonit adalah istilah untuk lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok diokto hedral. Bentonite mempunyai ciri khas, yaitu kalau diraba seperti lilin dan teksturnya seperti sabun. Bagian yang dekat dengan permukaan tanah condong berwarna hijau kekuningan atau abu-abu dan menjadi terang pada waktu dikeringkan. Endapan (Hamsyah dan Safri, 2020).

Bentonit merupakan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Terdiri dari dua tipe yaitu Na bentonit dan Ca bentonit, sebagai negeri yang kaya akan tambang dan mineral merupakan potensi bagi kita untuk menggalnya. Permasalahannya adalah bahwa potensi ini belum dikelola secara maksimal sehingga kebutuhan bentonit nasional hingga saat ini masih sangat kurang. Bentonit yang digunakan untuk beberapa penelitian masih impor, sehingga perlu diupayakan peningkatan mutu bahan lokal, sehingga dengan pemakaian bahan lokal diharapkan harganya lebih murah dan efisiensinya lebih meningkat. Sehingga dapat diupayakan untuk memanfaatkan potensi bahan baku yang ada dalam negeri. Bentonit adalah istilah untuk lempung yang mengandung monmorillonit dalam dunia pertambangan dan termasuk dalam kelompok dioktohedral. Penamaan jenis lempung berdasarkan dari penemu atau peneliti, misal ahli geologi, mineralogi, mineral industry dan lain-lain. Bentonit mempunyai ciri khas yaitu kalua diraba seperti lilin dan teksturnya seperti sabun. Bagian yang dekat dengan permukaan tanah condong berwarna hijau kekuningan atau abu- abu dan menjadi terang pada waktu dikeringkan (Hamsyah dan Safri, 2020).

Bentonit mempunyai struktur berlapis dengan kemampuan mengembang (*swelling*) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan. Meskipun lempung

bentonit sangat berguna untuk adsorpsi, namun kemampuan adsorpsinya terbatas. Kelemahan tersebut dapat diatasi melalui proses aktivasi menggunakan asam (HCl, H₂SO₄ dan HNO₃) sehingga dihasilkan lempung dengan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi. Aktivasi bentonit menggunakan asam akan menghasilkan bentonit dengan situs aktif lebih besar dan keasamaan permukaan yang lebih besar, sehingga akan dihasilkan bentonit dengan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan sebelum diaktivasi (Daniel S Bath et al., 2012).



Gambar 2.1 : Bentonit

2.7. Metode Pengujian Marshall

Metode Pengujian Marshall dikembangkan oleh Bruce Marshall yang bekerja pada Departemen Raya Negeri bagian Misisipi berkisan 1940-an. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat Marshall adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *paving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 Kn atau 5000 lbf dan Flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Alat Pengujian Marshall (Laboratorium PT. Adhi Karya)

Menurut SNI 2489-1991 metode ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat marshall. Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan.

Pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan alir (flow) dari suatu campuran aspal dengan agregat ukuran maksimum 2,54 cm. Sedangkan parameter lainnya didapatkan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan.

2.7.1. Cara Uji Marshall

Menurut (SNI 06-2489, 1991) cara uji cara uji dilakukan, sebagai berikut :

Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam (water bath) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukkan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap 25°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$)
2. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan

3. Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji
4. Pasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan
5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji
6. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol
7. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm, koreksilah bebannya dengan faktor perkalian yang bersangkutan dari Tabel 2.18.
8. Catat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

Table 2.18. Angka Korelasi Beban (Stabilitas)

Isi Benda Uji (cm) ³	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Korelasi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
238-250	30,2	4,55
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	33,3
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67

Tabel 2.8 Lanjutan

Isi Benda Uji (cm) ³	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Korelasi
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	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	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	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

2.8. Penelitian Terdahulu

Menurut hasil Penelitian (Ir. Salomo Simanjuntak M.T.,2013), menyatakan bahwa Hasil penelitian ini menghasilkan data bahwa dengan menggunakan bentonite 100% terkendala dalam pencampuran yang lebih merepotkan. Kadar bentonite yang kekecakkannya baik dan memenuhi Spec. Bina Marga 2010 adalah bentonite 10% dan hasil penelitian ada pada tabel 2.19.

Tabel 2.19 Hasil Penelitian Terdahulu.

Parameter	Kadar Aspal					Spec.Bina Marga 2010
	5%	5,5%	6 %	6,5%	7%	
Stabilitas (kg)	1147,60	1151,30	1229,20	1141,25	1101,83	Min 800
Flow	3,67	3,47	3,94	3,60	4,07	3-5
Marshall Quotient	314,84	332,72	312,88	321,79	272,45	Min 250

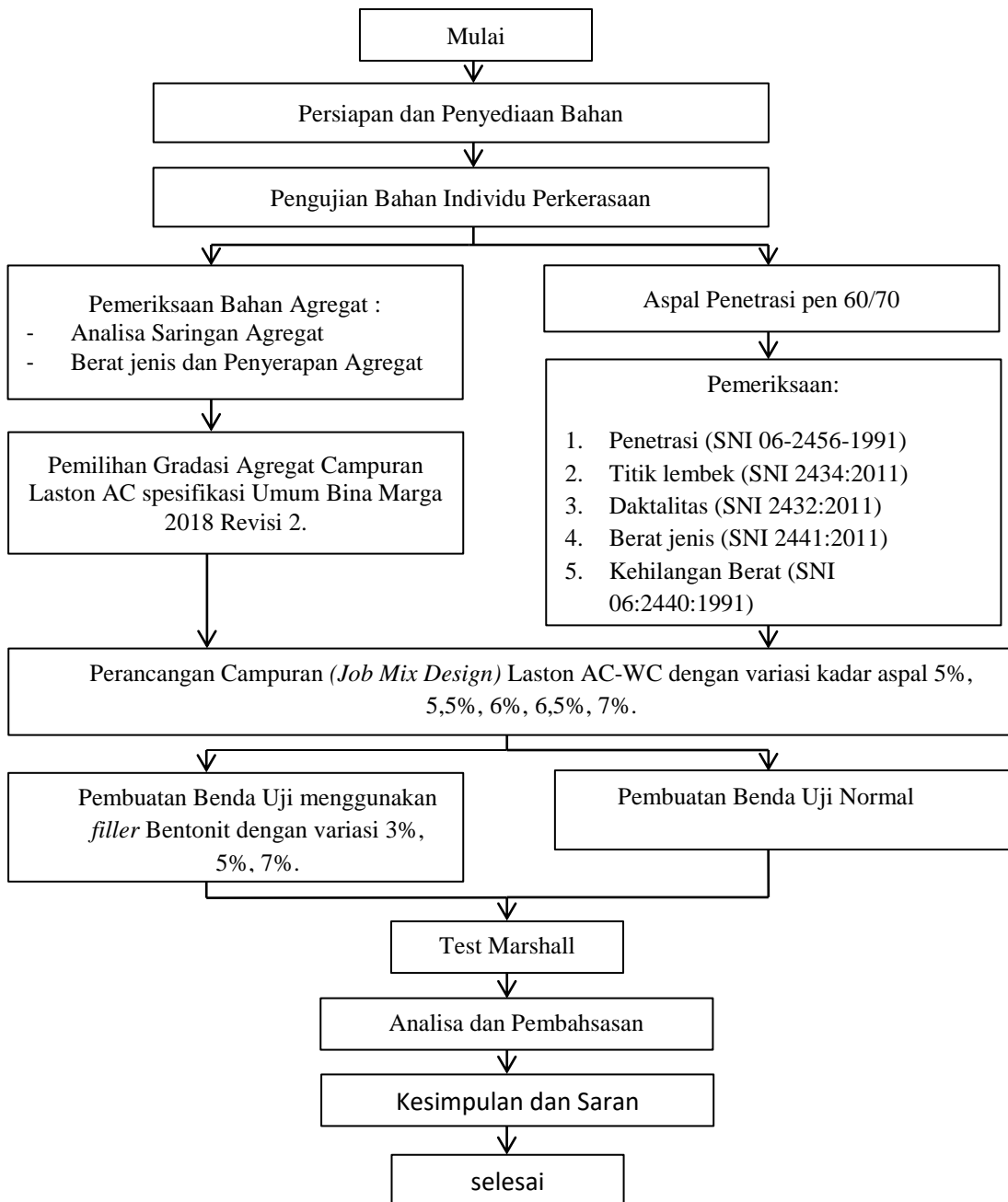
Tabel (2.19) Lanjutan

VMA	16,17	15,96	16,24	17,16	17,27	Min 15
VIM	6,84	5,42	4,52	4,39	3,31	Min 3,5-5,5
VFB	57,68	66,05	72,06	74,45	81,22	Min 65
Bulk Density	2,31	2,33	2,33	2,32	2,33	Min 2,2

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menyusun kegiatan secara sistematis yang dilakukan dengan tujuan untuk mengefektifkan dalam perencanaan yang ditunjukkan pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian

3.1.1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu :

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. variasi penggunaan *filler* Bentonit pada campuran aspal (Job Mix Design).
- d. Uji Marshall.

3.1.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat dari beberapa buku atau jurnal yang berhubungan dengan kontruksi jalan (literatur) dan didapat dari suatu perusahaan yang terkait. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia serta buku-buku atau literatur merupakan penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang akan di laksanakan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya yang berlokasi di Lantasan Baru, Kecamatan Patumbak Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Penelitian ini dimulai pada bulan Juni 2023.

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak, Deli Serdang, Sumatera Utara. Tahap awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya adalah pengambilan data sekunder mutu bahan aspal dan memeriksa agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

3.4. Bahan dan Peralatan

3.4.1. Bahan

Bahan yang diperlukan untuk pembuatan sample atau benda uji yaitu :

1. Aspal Pen 60/70

2. Agregat Kasar
3. Agregat Halus
4. Bentonit

3.4.2. Peralatan

Peralatan Alat penelitian adalah semua benda yang akan dipakai untuk memunjang dalam pelaksanaan proses penelitian. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat-Alat Pengujian Agregat
 - a. Satu set alat pengujian analisa saringan Satu set saringan adalah saringan yang digunakan dengan ukuran 19 mm (3/4"), 125 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No.4): 2,36 mm (No.8): 1,18 mm (No. 16); 0,600 mm (No.30), 0,300 mm (No.50), 0,150 mm (No.100), 0.075 mm (No.200). Semua saringan disusun berurutan dimulai dari ukuran saringan yang terkecil di posisi paling bawah sampai ukuran terbesar di posisi paling atas.
 - b. Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan meliputi timbangan, oven, piring seng, alat uji SSD (Saturated Surface Dry) dan gelas ukur.
2. Alat Pengujian Marshall
 - a. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 dan tinggi 7,62cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
 - b. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 1. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
 2. Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,48 x 30,48 x 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
 - c. Alat pengeluaran benda uji :

Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat ekstruder yang berdiameter 10 cm.
 - d. Alat marshall lengkap dengan :
 1. Kepala penekan (breaking head) berbentuk lengkung.

2. Cincin penguji (proving ring) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 m.
3. Arloji pengukur alir (flow) dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
- e. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu yang mampu memanasi sampai 200°C ($\pm 3^\circ\text{C}$).
- f. Bak perendam (water bath) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20 – 60°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).
- g. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- h. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 1% dari kapasitas.
- i. Perlengkapan lain :
 1. Panci-panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal;
 2. Sendok pengaduk dan spatula.
 3. Kompor atau pemanas (hot plate).
 4. Sarung tangan dari asbes; sarung tangan dari karet dan pelindung pernapasan (masker).
 5. Kantong plastic kapasitas 2 kg.

3.5. Persiapan Material

Pada dasarnya penelitian ini memiliki beberapa langkah dalam pengerjaannya. Diawali dengan menetapkan komposisi campuran yang akan digunakan, penyiapan material, pemeriksaan material, pembuatan benda uji. perawatan dan pengujian benda uji. Semua tahapan-tahapan penelitian diatas, mengacu pada standar peraturan pengerjaan aspal yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium. Sebagian Langkah pemeriksaan material hanya dibatasi pada pemeriksaan karakteristik saja, karena dianggap penting dalam perhitungan komposisi campuran. Namun tidak semua material dapat diperiksa karakteristiknya. Tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air dan material aditif.

Semua material (aspal, agregat) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tempat yang berbeda. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar (Split)

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan (batu pecah), agregat kasar ini berasal dari PT. Adhi Karya.

2. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir, agregat halus ini berasal dari PT. Adhi Karya.

3. Filler

Penelitian ini merupakan eksperimen dari pengganti filler yang dikombinasikan dengan aspal. Filler yang digunakan berupa Bentonit .

4. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang terdapat di Laboratorium PT. Adhi Karya, Lantasan Baru, Patumbak, Deli Serdang, Sumatera Utara.

3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran

Untuk mendapatkan campuran Laston AC-WC yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya.

3.6.1. Pemeriksaan Agregat

Agregat halus dan kasar yang berasal dari binjai tentunya juga dilakukan pemeriksaan yang dibuat untuk memenuhi standard agregat sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemeriksaan agregat ini antara lain sebagai berikut :

1. Pemeriksaan gradasi agregat.
2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969-2016).
3. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970-2016).

3.7. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji :

1. Keringkan agregat pada suhu $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ minimum selama 4 jam, keluarkan dari alat pengering (oven) dan tunggu sampai beratnya tetap.
2. Pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan.
3. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan (viscositas) yang disyaratkan baik untuk pekerjaan pencampuran maupun pemadatan.
4. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$.
5. Menyiapkan bahan benda uji yaitu aspal, agregat kasar, agregat halus dan *filler* Bentonit yang sudah dimasukkan ke dalam plastik.
6. Tuang semua agregat ke dalam wajan.
7. Memanaskan agregat dan *filler* Bentonit di dalam wajan, sangrai sampai suhu 150°C .
8. Setelah semua bahan mencapai suhu yang telah di tentukan, kemudian aspal yang sudah di timbang dimasukan ke dalam campuran tersebut, aduk-aduk hingga campuran tercampur dengan merata. Suhu maksimal pencampuran bahan di tetapkan sekitar 160°C .
9. Menyiapkan cetakan benda uji (mould) beserta alas cetakan yang sudah diolesi dengan minyak pelumas dan dipanaskan. Kemudian menyiapkan kertas lakmus dibagian dasar cetakan atau diatas alas cetakan.
10. Memasukkan semua bahan yang sudah dicampur dengan suhu maksimal pencampuran ke dalam cetakan sembari ditusuk-tusuk dengan spatula agar campuran tersebut padat dan tidak banyak rongga di dalam campuran. Penusukan dengan alat spatula ini dilakukan dengan prosedur menusuk bagian pinggir dan bagian tengah sebanyak 10 kali.
11. Melakukan penumbukan pada campuran yang telah dimasukkan pada cetakan sebanyak 75 kali kemudian diganti permukaan lainnya sebanyak 75 kali.
12. Setelah dilakukan penumbukan, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji.

13. Setelah benda uji dilepaskan dari cetakan kemudian diberikan tanda pengenal agar tidak tertukar dengan benda uji yang lainnya. Kemudian benda uji didiamkan hingga kering .
14. Setelah benda uji kering, kemudian dilakukan penimbangan pada masing-masing benda uji untuk mendapatkan nilai berat benda uji kering.
15. Benda uji kemudian direndam di dalam bak perendaman selama ± 24 jam.
16. Setelah direndam ± 24 jam, kemudian dikeluarkan dari bak perendaman lalu dilap menggunakan lap kering sampai benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan atau SSD.
17. Benda uji kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai dari berat SSD (saturated surface dry).
18. Setelah itu, benda uji ditimbang di dalam air untuk mendapatkan nilai berat dalam air.
19. Kemudian dilakukan pengujian dengan alat Marshall terhadap masing-masing benda uji.

3.8. Pengujian dengan Alat Marshall

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian Marshall antara lain sebagai berikut :

1. Merendam benda uji di dalam bak perendaman pada suhu 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) selama 30 – 40 menit.
2. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam (waterbath) dan letakkan benda uji di tengah pada bagian bawah kepala penekan dan alat pemasangan yang sudah lengkap tersebut diletakkan di tengah alat pembebanan.
3. Menaikkan kepala penekan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian mengatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
4. Memberi pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm (2 inch) per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm, koreksilah bebannya dengan faktor perkalian yang bersangkutan dari Tabel Angka Korelasi Beban.

5. Mencatat nilai pelelehan (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum (Stabilitas) tercapai.
6. Setelah pengujian selesai, benda uji dikeluarkan dari alat Marshall. Waktu yang diperlukan untuk mengeluarkan benda uji tidak boleh lebih dari 30 detik.
7. Lalu ukur diameter dan tebal benda uji setelah pengujian.

3.9. Analisa Dan Pembahasan

Sesuai dengan acuan pada penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini hanya difokuskan pada pembahasan mengenai pengaruh kualitas dari campuran aspal beton terhadap pengujian marshall dimana perhitungannya meliputi: kepadatan (density), VIM,VFA, VMA, Pelelehan (flow), Stabilitas dan MQ (marshall quotient).

3.9.1. Analisa Saringan

Komponen utama pada pembuatan aspal beton adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-WC maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal $\frac{3}{4}$ " , agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan plastik sebagai bahan penambah. Untuk mendapatkan aspal beton yang baik maka gradasi agregat harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012). Dari percobaan pencampuran agregat dapat diperoleh hasil perbandingan campuran agregat hasil analisa saringan yang tertera pada Tabel 3.1-3.6.

Tabel 3.1: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ca) $\frac{3}{4}$ " inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$	19.1	100.00
$\frac{1}{2}$	12.7	61.22
$\frac{3}{8}$	9.5	2.43
No. 4	4.76	0.20

Tabel 3.2: Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) ½ inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
¾	19.1	100.00
½	12.7	100.00
3/8	9.5	97,99
No. 4	4.76	45,76
No. 8	2.88	28,57
No. 16	1.19	11,54
No. 30	0.595	8,35
No. 50	0.297	2,55
No. 100	0.15	1,56
No. 200	0.074	1,27

Tabel 3.3: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Fa)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
¾	19.1	100.00
½	12.7	100.00
3/8	9.5	100.00
No. 4	4.76	97.27
No. 8	2.88	76,05
No. 16	1.19	49,56
No. 30	0.595	38,27
No. 50	0.297	24,29
No. 100	0.15	19,57
No. 200	0.074	9,41

Tabel 3.4: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (Sand)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$	19.1	100.00
$\frac{1}{2}$	12.7	100.00
$\frac{3}{8}$	9.5	100.00
No. 4	4.76	100.00
No. 8	2.88	100.00
No. 16	1.19	82,80
No. 30	0.595	56,90
No. 50	0.297	24,38
No. 100	0.15	5,83
No. 200	0.074	0,92

Tabel 3.5: Hasil Pemeriksaan analisis saringan Semen

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$	19.1	100,00
$\frac{1}{2}$	12.7	100,00
$\frac{3}{8}$	9.5	100,00
No. 4	4.76	100,00
No. 8	2.88	100,00
No. 16	1.19	100,00
No. 30	0.595	100,00
No. 50	0.297	100,00
No. 100	0.15	94,44
No. 200	0.074	88,84
PAN	-	88,83

Tabel 3.6: Hasil Pemeriksaan analisis saringan *Filler* Bentonit

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$	19.1	100,00
$\frac{1}{2}$	12.7	100,00
$\frac{3}{8}$	9.5	100,00
No. 4	4.76	100,00
No. 8	2.88	100,00
No. 16	1.19	100,00
No. 30	0.595	100,00
No. 50	0.297	100,00
No. 100	0.15	87,91
No. 200	0.074	79,47
PAN	-	79,46

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran beton aspal dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan karakteristik aspal yang telah dilakukan oleh perusahaan dan diuji di Laboratorium Pengujian Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga dan Bina Kontruksi Provinsi Sumatera Utara, sehingga diperoleh hasilnya pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70

NO	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Uji	Spesifikasi	Satuan
1.	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	62,4	60-70	0,1 mm
2.	Titik Lembek	SNI 2434:2011	50	≥ 48	°C
3.	Daktalitas pada 25°C, 5 cm/menit	SNI 2432:2011	100	≥ 100	Cm
4.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	369	≥ 232	°C
5.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	1,0204	$\geq 1,0$	-
6.	Kehilangan Berat (TFOT)	SNI 2440-2011	0,0374	$\leq 0,8$	%
7.	Kelarutan	AASHTO 44-03	99,35 %	≥ 99	%

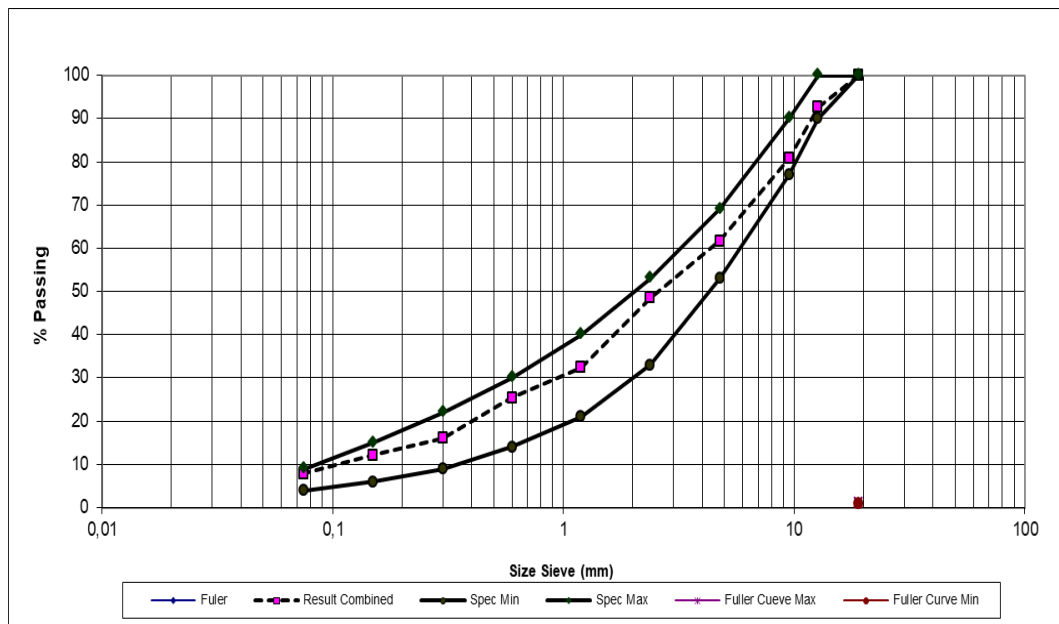
Dari hasil pemeriksaan Laboratorium yang diperoleh, aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian sebagai bahan ikat campuran beton aspal.

4.2. Hasil Pemeriksaan Gradasi

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada diantara batas atas dan bawah. Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Tabel 4.8 untuk campuran normal.

Tabel 4.2: Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			¾"	½"	Fa	Sand	Semen	
			19%	34%	37%	8%	2%	
¾"	100	100	19,00	34,00	37,00	8,00	2,00	100,00
½"	90	100	11,63	34,00	37,00	8,00	2,00	93,02
¾"	77	90	0,46	33,32	37,00	8,00	2,00	81,75
No. 4	53	69	0,04	15,56	35,99	8,00	2,00	62,50
No. 8	33	53	0,00	9,71	28,14	8,00	2,00	48,13
No. 16	21	40	0,00	3,92	18,34	6,62	2,00	30,37
No. 30	14	30	0,00	2,84	14,16	4,55	2,00	22,70
No. 50	9	22	0,00	0,87	8,99	1,95	2,00	12,53
No. 100	6	15	0,00	0,53	7,24	0,47	1,89	8,83
No. 200	4	9	0,00	0,43	3,48	0,07	1,78	4,27



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal

Dari hasil pengujian analisis saringan maka didapat kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Data yang diperoleh pada campuran normal:

1. Agregat Kasar CA $\frac{3}{4}$ " inch = 19%
2. Agregat Medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 34 %
3. Agregat Halus Abu Batu (FA) = 37%
4. Agregat Halus Pasir (Sand) = 8 %
5. Semen = 2%

Agregat dan Aspal untuk setiap benda uji diperlukan sebanyak 1200 gram, sehingga menghasilkan diameter benda uji 10 cm dan tinggi 7 cm.

Tabel 4.3: Hasil Perhitungan Berat Agregat yang diperlukan untuk benda uji Campuran Normal.

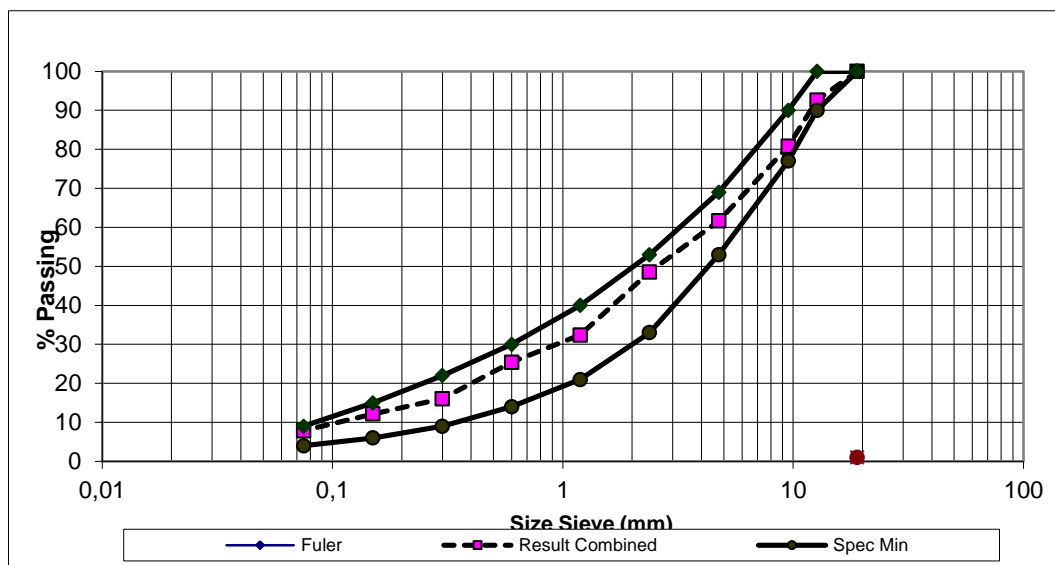
Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	FA	Sand	Semen
5%	60	216,2	387,6	421,8	91,5	22,8
5,5%	66	215,7	385,5	419,6	90,7	22,6
6 %	72	214,3	383,5	417,3	90,3	22,5
6,5%	78	213,2	381,4	415,1	89,7	22,4
7%	84	212,1	379,4	412,9	89,3	22,3

Tabel 4.4: Hasil Kombinasi Gradasi Agregat untuk Campuran Bentonit sebanyak 3%.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	Fa	Sand	Semen	Bentonit	
			19%	34%	34%	8%	2 %	3%	
$\frac{3}{4}$ "	90	100	19,00	34,00	34,00	8,00	2,00	3,00	100
$\frac{1}{2}$ "	75	90	11,63	34,00	34,00	8,00	2,00	3,00	92,63
$\frac{3}{8}$ "	66	82	0,46	33,32	34,00	8,00	2,00	3,00	80,78
No. 4	46	64	0,04	15,56	33,07	8,00	2,00	3,00	61,67
No. 8	30	49	0,00	9,71	25,86	8,00	2,00	3,00	48,57

Tabel 4.4 Lanjutan

No. 16	18	38	0,00	3,92	16,85	6,62	2,00	3,00	32,40
No. 30	12	28	0,00	2,84	13,01	4,55	2,00	3,00	25,40
No. 50	7	20	0,00	0,87	8,26	1,95	2,00	3,00	16,8
No. 100	5	13	0,00	0,53	6,66	0,47	1,89	2,64	12,18
No. 200	4	8	0,00	0,43	3,20	0,07	1,78	2,38	7,86



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran Bentonit 3%

Dari hasil pengujian analisis saringan maka didapat kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Data yang diperoleh pada campuran normal:

1. Agregat Kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 19 %
2. Agregat Medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 34 %
3. Agregat Halus Abu Batu (FA) = 34%
4. Agregat Halus Pasir (Sand) = 8 %
5. Semen = 2%
6. Bentonit = 3%

Agregat dan Aspal untuk setiap benda uji diperlukan sebanyak 1200 gram, sehingga menghasilkan diameter benda uji 10 cm dan tinggi 7 cm.

Tabel 4.5: Hasil Perhitungan Berat Agregat yang diperlukan untuk benda uji Campuran Bentonit 3%.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	¾"	½"	FA	Sand	Semen	Bentonit
5%	60	216,3	387,6	387,6	91,4	22,8	34,2
5,5%	66	215,7	385,5	385,5	90,8	22,6	34
6 %	72	214,3	383,5	383,5	90,4	22,5	33,8
6,5%	78	213,2	381,4	381,4	89,8	22,4	33,6
7%	84	212,1	379,4	379,4	89,4	22,3	33,4

4.3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

1. Berat Jenis Agregat Kasar CA ¾" inch Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis Curah
$$= \frac{2458}{2477 - 1526}$$

$$= 2,58$$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh
$$= \frac{2458}{2458 - 1526}$$

$$= 2,64$$
- Berat jenis Semu
$$= \frac{2477}{2477 - 1526}$$

$$= 2,6$$
- Penyerapan
$$= \frac{2477 - 2455}{2455} \times 100\%$$

$$= 0,77$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian CA ¾” inch dapat dilihat pada tabel 4.6.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,58	2,56	2,57
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,64	2,61	2,63
Berat Jenis Semu (Ss)	2,61	2,58	2,59
Penyerapan (Sw)	0,77	0,73	0,75

2. Berat Jenis Agregat Kasar MA ½” inch Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis Curah $= \frac{2334}{2357 - 1448}$
 $= 2,57$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{2334}{2334 - 1448}$
 $= 2,63$
- Berat jenis Semu $= \frac{2357}{2357 - 1448}$
 $= 2,59$
- Penyerapan $= \frac{2357 - 2334}{2334} \times 100\%$
 $= 0,98$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian MA ½” inch dapat dilihat pada tabel 4.7.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,57	2,56	2,56
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,63	2,63	2,63
Berat Jenis Semu (Ss)	2,59	2,58	2,58
Penyerapan (Sw)	0,98	1,12	1,05

3. Berat Jenis Agregat Halus FA Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat jenis Curah} &= \frac{492,3}{1227 + 500 - 1531,9} \\ &= 2,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh} &= \frac{500}{1227 + 500 - 1531,9} \\ &= 2,56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Berat jenis Semu} &= \frac{492,3}{1227 + 492,3 - 1531,9} \\ &= 2,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Penyerapan} &= \frac{500 - 492,3}{492,3} \times 100\% \\ &= 1,56 \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian FA dapat dilihat pada tabel 4.8.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,52	2,53	2,52
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Ss)	2,56	2,57	2,57
Berat Jenis Semu (Ss)	2,63	2,64	2,63
Penyerapan (Sw)	1,56	1,73	1,65

4. Berat Jenis Agregat Halus Sand Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis Curah $= \frac{494,6}{1226 + 500 - 1526,8}$

$$= 2,48$$

- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{1266 + 500 - 1526,8}$

$$= 2,51$$

- Berat jenis Semu $= \frac{494,6}{1226 + 494,6 - 1526,8}$

$$= 2,55$$

- Penyerapan $= \frac{500 - 494,6}{494,6} \times 100\%$

$$= 1,09$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian Sand dapat dilihat pada tabel 4.9.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,48	2,51	2,49
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,51	2,54	2,52
Berat Jenis Semu (Ss)	2,55	2,59	2,57
Penyerapan (Sw)	1,09	1,23	1,16

5. Berat Jenis Semen Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis Curah
$$= \frac{489,6}{1201,5 + 500 - 1531,9}$$

$$= 2,89$$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh
$$= \frac{500}{1201,5 + 500 - 1531,9}$$

$$= 3,07$$
- Berat jenis Semu
$$= \frac{489,6}{1201,5 + 489,6 - 1531,9}$$

$$= 2,95$$
- Penyerapan
$$= \frac{500 - 489,6}{489,6} \times 100\%$$

$$= 2,12$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian Sand dapat dilihat pada tabel 4.10.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,89	3,42	3,15
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	3,07	3,63	3,35
Berat Jenis Semu (Ss)	2,95	3,48	3,21
Penyerapan (Sw)	2,12	1,71	1,92

6. Berat Jenis *filler* Bentonit Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat jenis Curah
$$= \frac{483,5}{675,6 + 500 - 951,5}$$

$$= 2,16$$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh
$$= \frac{500}{675,6 + 500 - 951,5}$$

$$= 2,23$$
- Berat jenis Semu
$$= \frac{483,5}{675,6 + 483,5 - 951,5}$$

$$= 2,33$$
- Penyerapan
$$= \frac{500 - 483,5}{483,5} \times 100\%$$

$$= 3,41$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian Bentonit dapat dilihat pada tabel 4.11.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,16	2,52	2,34
Berat Jenis Kering Permudkaan Jenuh (Ss)	2,23	2,57	2,40
Berat Jenis Semu (Ss)	2,32	2,65	2,49
Penyerapan (Sw)	3,41	1,98	2,69

4.4. Hasil Pemeriksaan Benda Uji

4.4.1. Perhitungan Nilai Karakteristik Pada Pemeriksaan Uji *Marshall*

Nilai karakteristik *Marshall* didapat dari perhitungan terhadap hasil percobaan di Laboratorium. Berikut salah satu contoh analisis untuk menghitung perhitungan karakteristik pengujian Marshall pada campuran normal dengan kadar aspal 5 % sampel 1 :

- a. Persentase terhadap batuan = 95%
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5%
- c. Berat sampel kering = 1195,3
- d. Berat sampel jenuh (SSD) = 1203,2
- e. Berat sampel dalam air = 673,5
- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
= 1203,2 – 673,5 = 529,7

g. Berat isi sampel = $\frac{\text{Berat isi Sampel}}{\text{Volume Sampel}}$

$$= \frac{1195,3}{529,7}$$

$$= 2,257$$

h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\frac{ps}{Gse} + \frac{pa}{Ga}}$

$$= \frac{100}{\frac{95}{2,580} + \frac{5}{1,024}}$$

$$= \frac{100}{2,398}$$

$$= 2,398 \%$$

i. Persentase volume aspal = $\frac{b \times g}{Bj.aspal}$

$$= \frac{5 \times 2,257}{1,024}$$

$$= 11,02\%$$

j. Persentase volume agregat

$$= \frac{((100-b) \times g)}{B_{j.agregat}}$$

$$= \frac{((100-5) \times 2,257)}{2,541}$$

$$= 84,48\%$$

k. Persentase rongga terhadap campuran

$$= 100 - \frac{(100 \times g)}{h}$$

$$= 100 - \frac{(100 \times 2,257)}{2,398}$$

$$= 5,88$$

l. Persentase rongga terhadap agregat

$$= 100 - \frac{(100-b) \times g}{B_{j.agregat}}$$

$$= 100 - \frac{(100-5) \times 2,257}{2,541}$$

$$= 15,61$$

m. Persentase rongga terisi aspal

$$= 100 \times \frac{(i-k)}{i}$$

$$= 100 \times \frac{(15,61-5,88)}{15,61}$$

$$= 62,38$$

n. Pembacaan arloji stabilitas

$$= 47$$

o. Stabilitas Kalibrasi proving ring

$$= 47 \times 23,80$$

$$= 1119$$

p. Stabilitas akhir

$$= 1119 \times 0,96$$

$$= 1074$$

q. Kelelahan

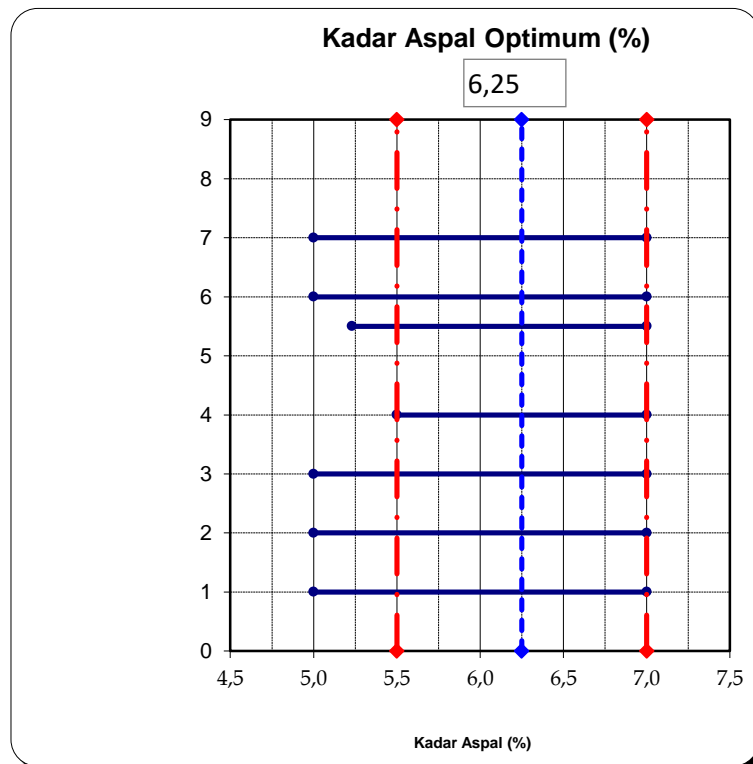
$$= 2,70$$

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta pengganti *filler* menggunakan Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada lampiran. Dari hasil pemeriksaan uji Marshall yang dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya Patumbak di dapat nilai Berat Isi (*Bulk Density*), Stabilitas (*Stability*), Kelelahan (*Flow*), Persentase Rongga terhadap Campuran (VIM), Persentase Rongga terhadap Terisi Aspal (VFA), Persentase Rongga terhadap Agregat (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Berikut rekapitulasi hasil uji marshall pada campuran aspal normal dan pengganti *filler* menggunakan Bentonit 3%, 5% dan 7%.

Tabel 4.12: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran Normal.

Karakteristik	Kadar Aspal					Batas Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
Bulk Density (gr/cc)	2,255	2,262	2,279	2,248	2,245	-
Stability (kg)	1013	1152	1166	1219	1092	Min 800
Flow (mm)	2,47	2,93	3,10	3,43	3,80	2-4
Air Voids (%)	5,97	4,99	4,23	4,26	3,74	3-5
Voids Filled (%)	62,00	68,58	73,09	75,89	80,34	Min 65
VMA (%)	15,70	15,86	15,68	17,28	17,84	Min 15
MQ (kg/mm)	411	393	378	355	288	Min 250

Hasil dari nilai kadar aspal optimum (KAO) normal sebesar 6,25% dapat dilihat padagambar 4.3.

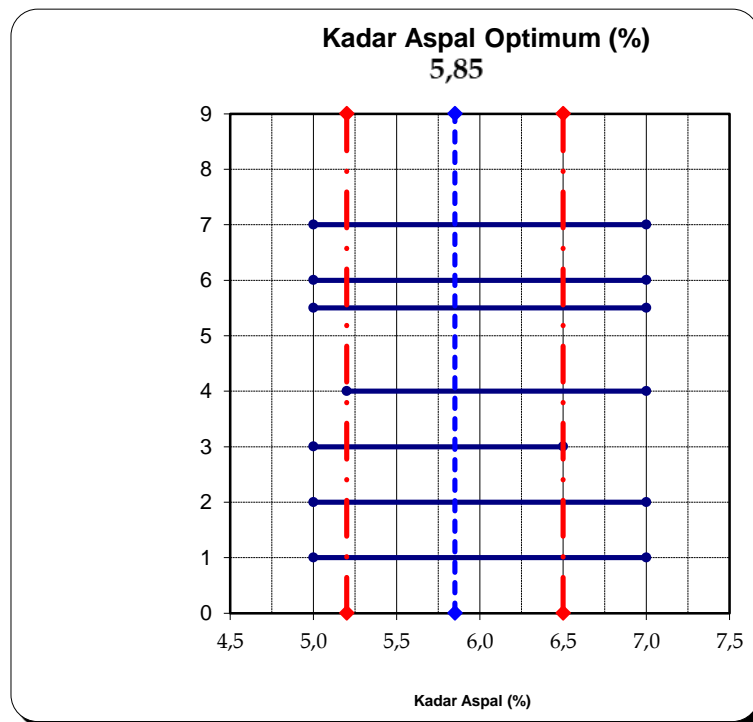


Gambar 4.3 : grafik Kadar Aspal Optimum KAO Normal.

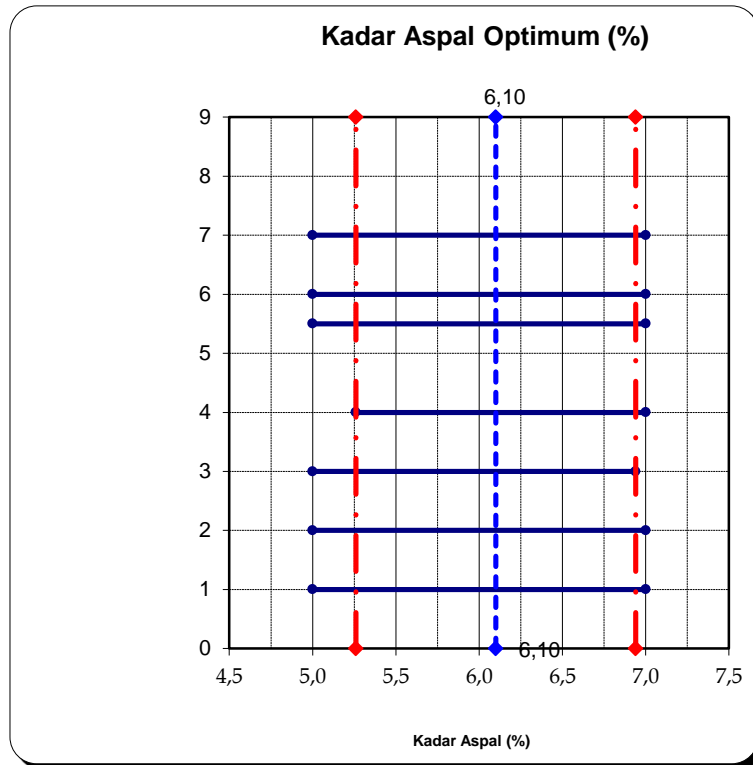
Tabel 4.13: Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran dengan menggunakan Pengganti *filler* Bentonit variasi 3%, 5% dan 7% .

Karakteristik	Bentonit			Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2
	3%	5%	7%	
Bulk Density (gr/cc)	2,280	2,281	2,270	-
Stability (kg)	1145	1096	1148,76	Min 800
Flow (mm)	3,70	3,45	3,60	2-4
Air Voids (%)	4,15	3,74	3,88	3-5
Voids Filleds (%)	73,56	76,27	76,23	Min 65
VMA (%)	15,59	15,74	16,19	Min 15
MQ	313,33	327,24	333,24	Min 250

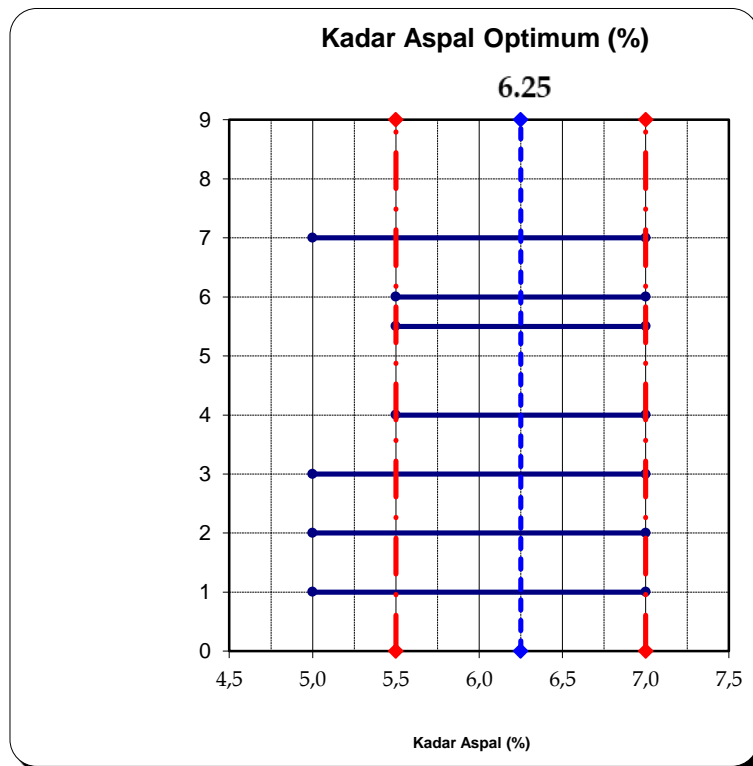
Berdasarkan hasil uji Marshall diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran Pengganti *filler* Bentonit variasi 3%, 5% dan 7% yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 - 4.6 berikut ini.



Gambar 4.4: grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 3%.



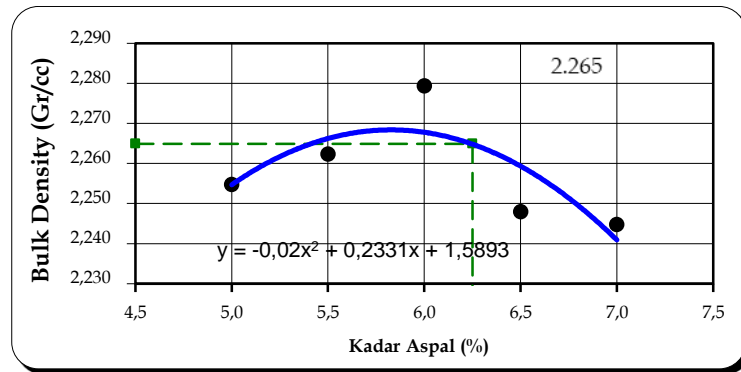
Gambar 4.5: grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 5%.



Gambar 4.6 :grafik Kadar Aspal Optimum KAO Bentonit 7%.

1. Bulk Density

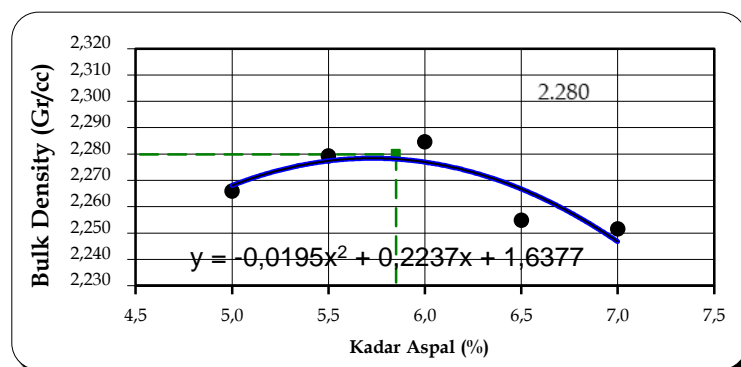
Hasil nilai *bulk density* pada aspal normal.



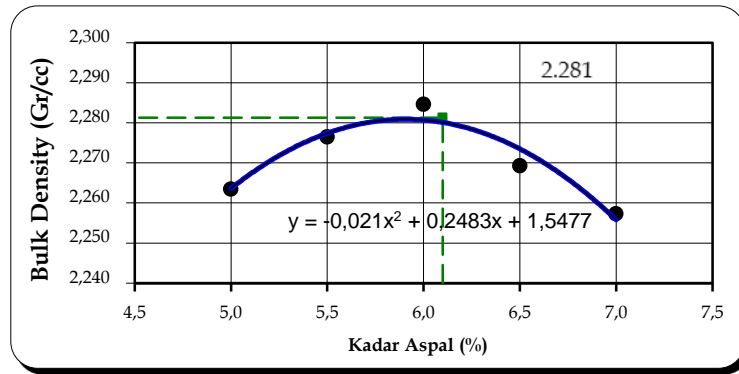
Gambar 4.7: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% *Bulk Density* mencapai 2,255 Gr/cc, 5,5% naik mencapai 2,262 Gr/cc dan pada 6% naik mencapai 2,279 Gr/cc, 6,5 % turun mencapai 2,248 Gr/cc, 7% turun lagi 2,245 Gr/cc, sehingga disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal maka *Bulk Density* suatu campuran semakin meningkat dan juga bisa menurun.

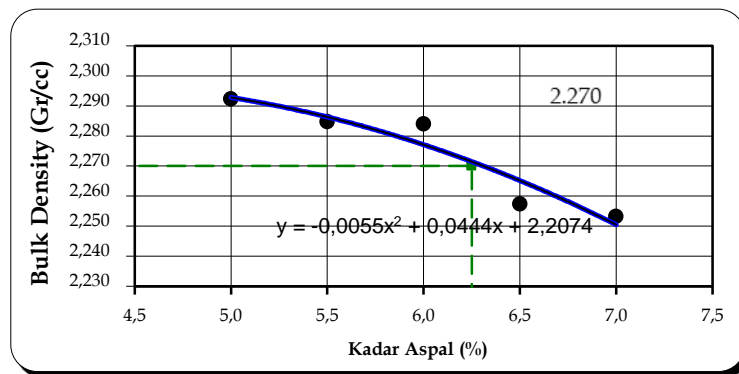
Hasil nilai *bulk density* pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.8-4.10.



Gambar 4.8: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 3% Bentonit



Gambar 4.9: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 5% Bentonit

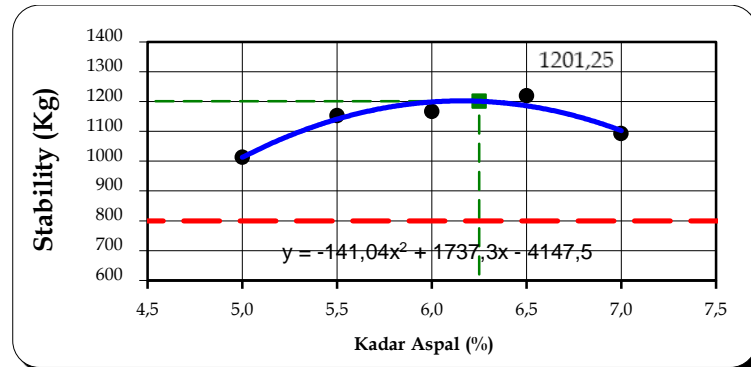


Gambar 4.10: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Bulk Density (gr/cc) campuran 7% Bentonit

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti filler Bentonit pada variasi 3% Bulk Density mencapai 2,280 Gr/cc , variasi 5% Bentonit naik mencapai 2,281 Gr/cc dan pada variasi 7% turun mencapai 2,270, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka Bulk Density suatu campuran semakin meningkat dan juga bisa menurun.

2. Stability

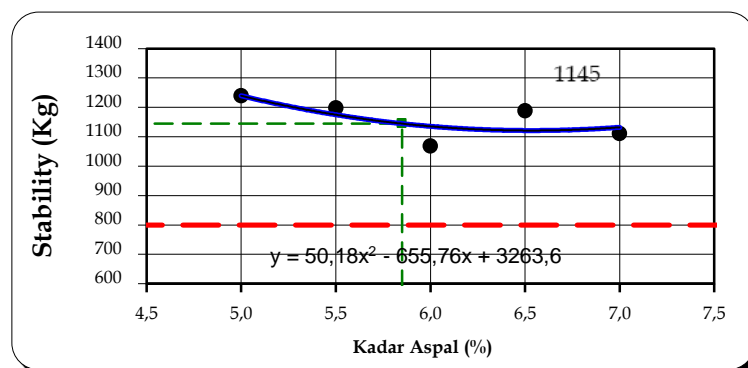
Hasil nilai stability pada aspal normal dilihat pada gambar 4.11 .



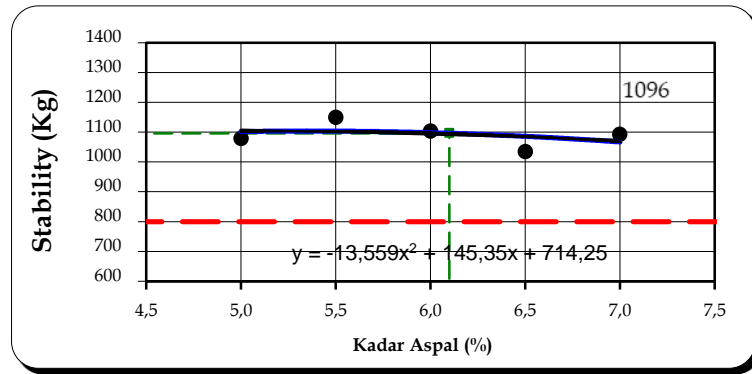
Gambar 4.11: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg)
Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% *stability* mencapai 1013 kg, 5,5% naik mencapai 1152 kg dan pada 6% naik mencapai 1166 kg, 6,5 % naik mencapai 1219 kg, 7% turun 1092 kg, sehingga disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal maka satbilitas suatu campuran semakin meningkat dan terlalu berlebih juga bisa menurun.

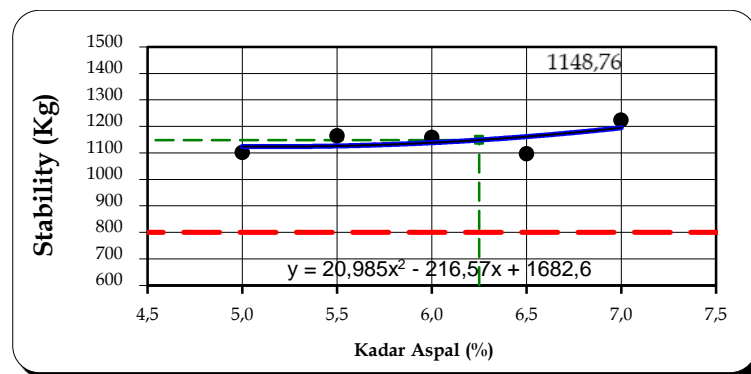
Hasil nilai *Stability* pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.12-4.14.



Gambar 4.12: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg)
Campuran Bentonit 3%



Gambar 4.13: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg)
Campuran Bentonit 5%

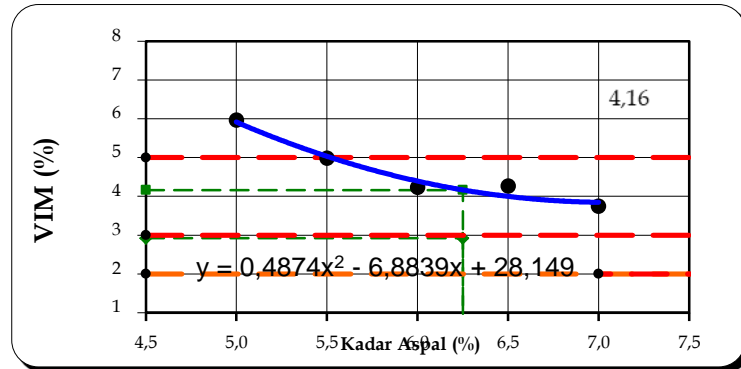


Gambar 4.14: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Stability (Kg)
Campuran Bentonit 7%

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti *filler* Bentonit pada variasi 3% *Stability* mencapai 1145 kg , variasi 5% Bentonit turun mencapai 1096 kg dan pada variasi 7% naik mencapai 1148,76 kg, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka *Stability* suatu campuran semakin menurun dan juga bisa meningkat.

3. Air Voids/Void in Mix Marshall (VIM)

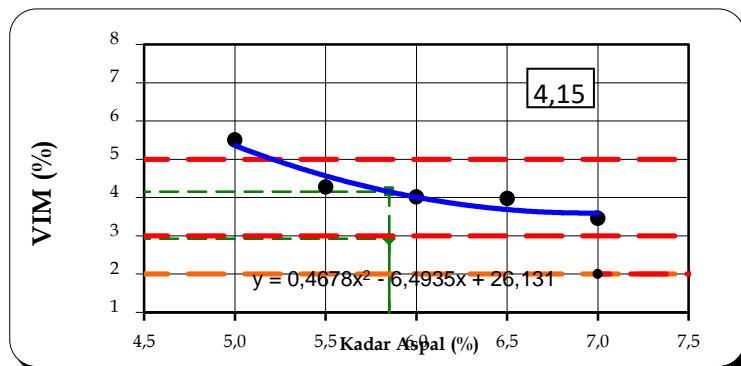
Hasil nilai air voids (VIM) pada aspal normal dilihat pada gambar 4.15.



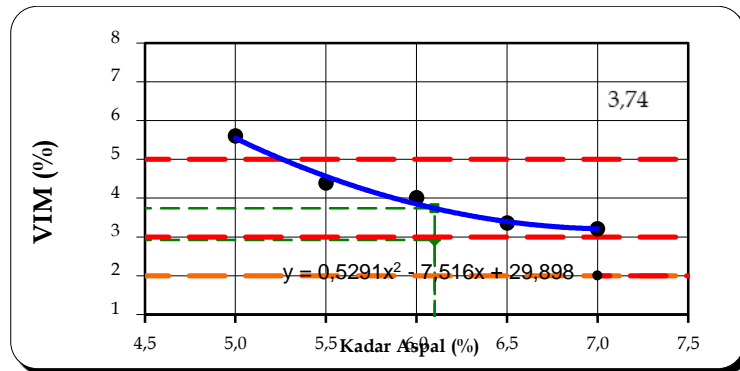
Gambar 4.15: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% air voids mencapai 5,97%, 5,5% turun sebesar 4,99%, 6% juga mengalami penurunan sebesar 4,23%, 6,5 % naik 4,26%, dan pada 7% turun sebesar 3,74 sehingga disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal yang berlebihan pada batas tertentu air voids suatu campuran semakin menurun dan kemungkinan kecil naik. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada campuran normal pada kadar variasi 5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai batas 3-5%.

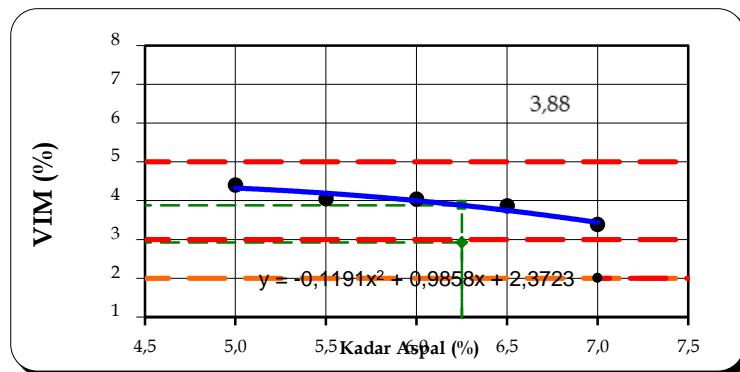
Hasil nilai VIM pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.16-4.18.



Gambar 4.16: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 3%.



Gambar 4.17: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 5%.

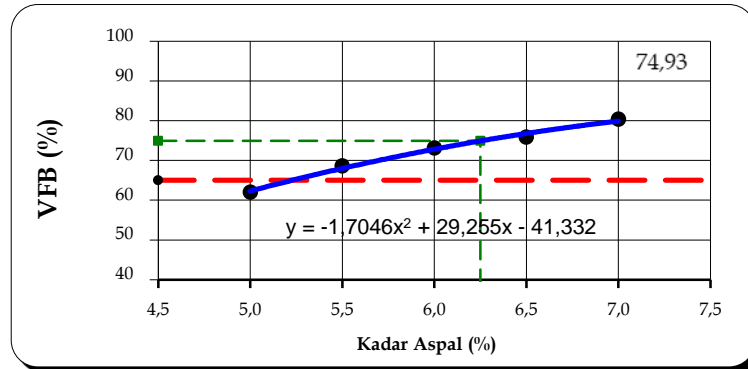


Gambar 4.18: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) Campuran Bentonit 7%.

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti *filler* Bentonit pada variasi 3% VIM mencapai 4,15% , variasi 5% Bentonit naik mencapai 3,74% dan pada variasi 7% turun mencapai 3,88 % , sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka VIM suatu campuran semakin menurun dan juga bisa meningkat.

4. Void Filled With Asphalt (VFB)

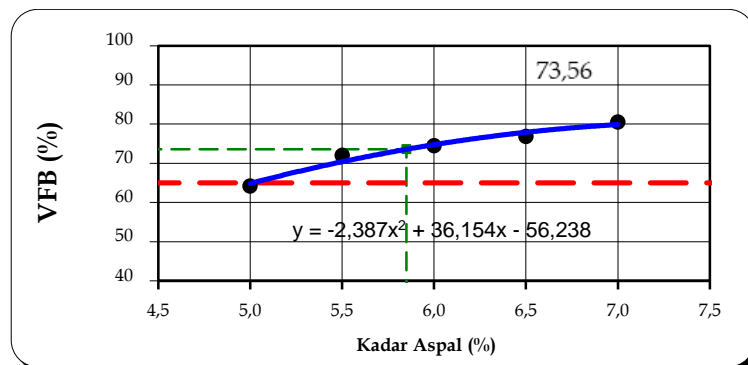
Hasil nilai void filled with asphalt (VFB) pada aspal normal dilihat pada gambar 4.19 .



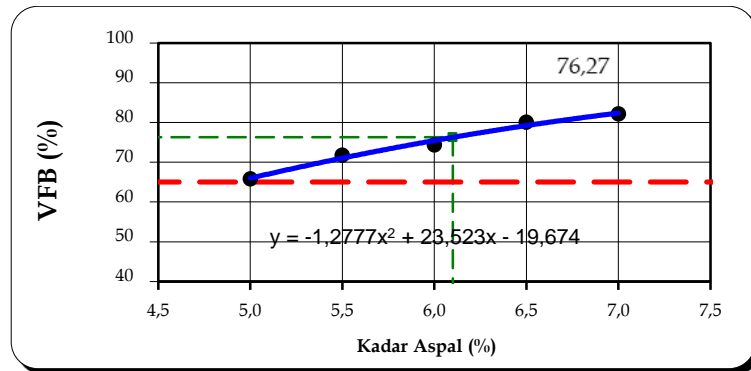
Gambar 4.19: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% voids filled mencapai 62,00%, 5,5% naik sebesar 68,58%, 6% naik sebesar 73,09%, 6,5 % naik sebesar 75,89%, dan pada pada 7% juga mengalami kenaikan sebesar 80,34%. sehingga disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal yang berlebihan pada batas tertentu voids filled suatu campuran semakin meningkat. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada campuran normal pada kadar aspal 5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VFA memiliki nilai batas minimum yaitu 65%.

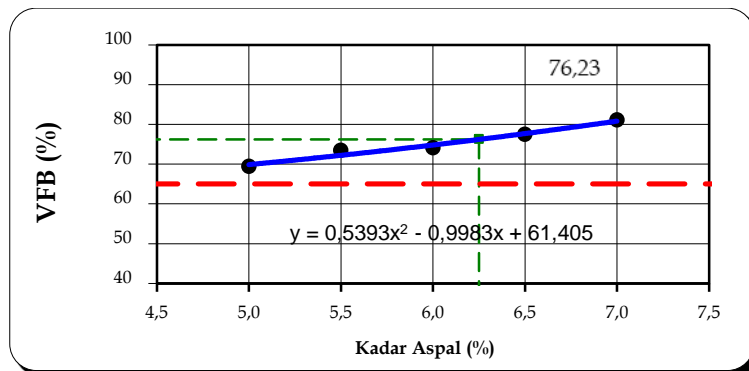
Hasil nilai VIM pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.20-4.22.



Gambar 4.20: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 3%



Gambar 4.21: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 5%

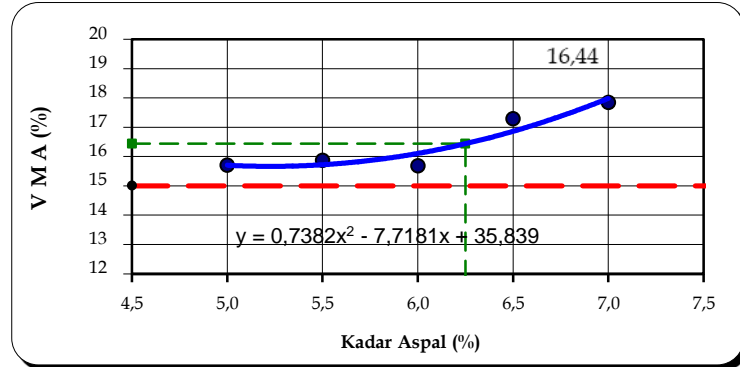


Gambar 4.22: Grafik Hubungan antara Kadar Aspal (%) dengan Voids Filled (%) Campuran Bentonit 7%

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti *filler* Bentonit pada variasi 3% VFB mencapai 73,56% , variasi 5% Bentonit naik mencapai 76,27% dan pada variasi 7% turun mencapai 76,23%, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka VFB suatu campuran semakin meningkat dan juga bisa menurun.

5. Void In Mineral Aggreggate (VMA)

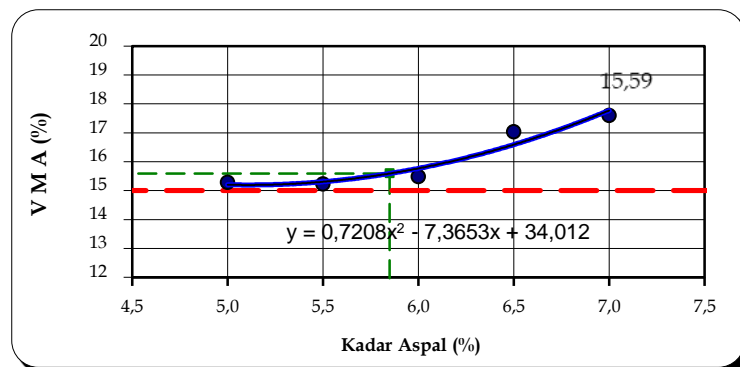
Hasil VMA pada aspal normal pada gambar 4.23 .



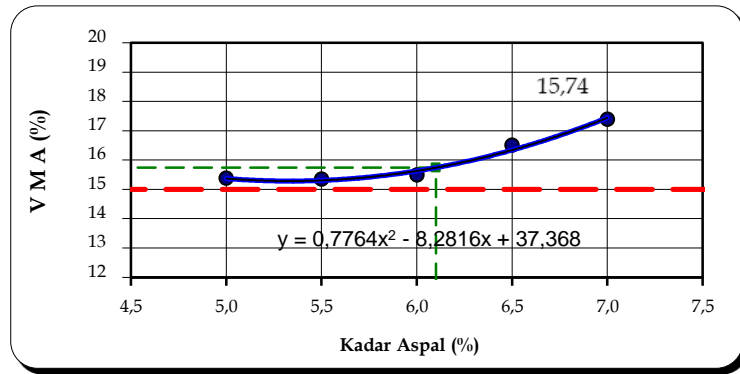
Gambar 4.23: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% nilai VMA mencapai 15,70%, 5,5% naik sebesar 15,86%, 6% turun sebesar 15,68, 6,5% naik sebesar 17,28 dan pada 7% naik sebesar 17,84%. sehingga disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka rongga dalam agregat bisa turun dan juga bertambah. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada campuran normal semua memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana VMA memiliki nilai batas minimum yaitu 15%.

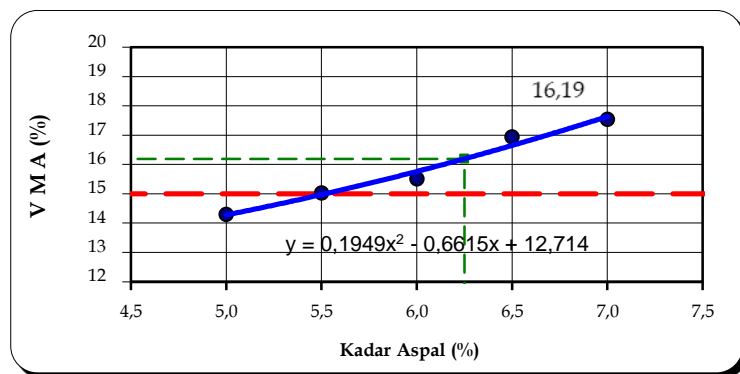
Hasil nilai VMA pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.24-4.26.



Gambar 4.24: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 3%.



Gambar 4.25: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 5%

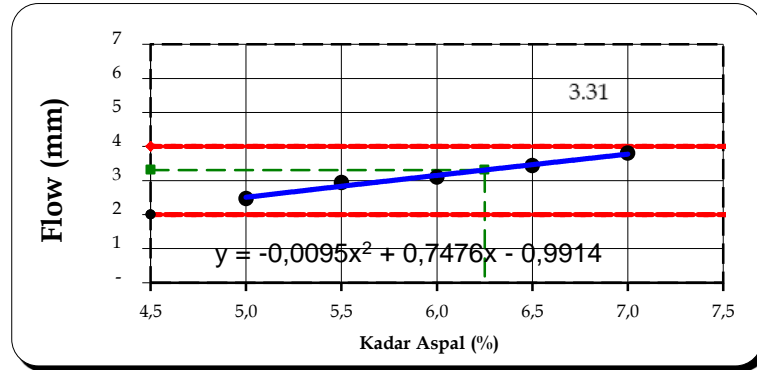


Gambar 4.26: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VMA (%) Bentonit 7%

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti *filler* Bentonit pada variasi 3% VMA mencapai 15,59% , variasi 5% Bentonit naik mencapai 15,74% dan pada variasi 7% naik mencapai 16,19%, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka VMA suatu campuran semakin meningkat.

6. Flow

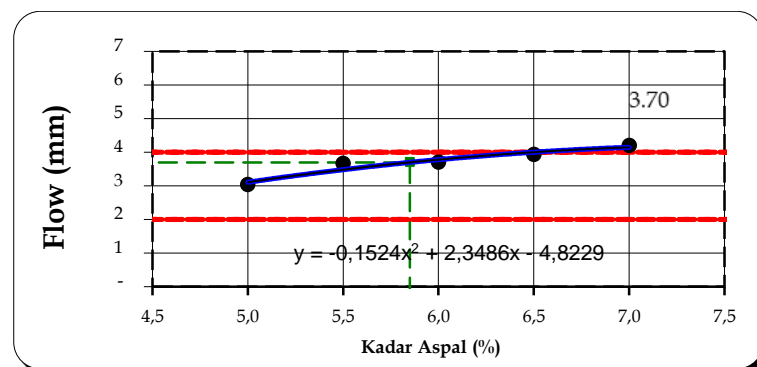
Hasil VMA pada aspal normal dilihat pada gambar 4.27.



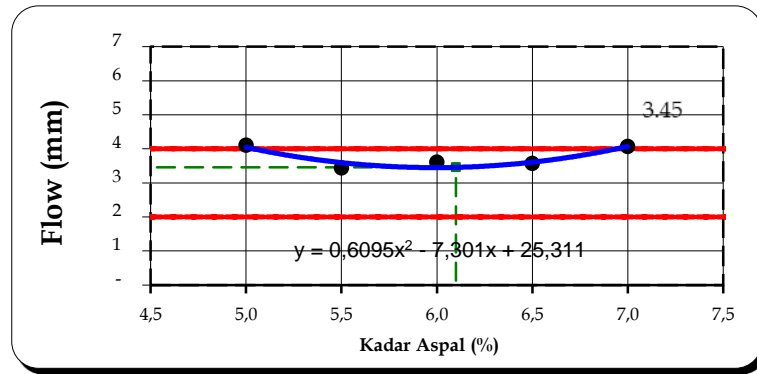
Gambar 4.27: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% nilai Flow mencapai 2,47 mm, 5,5% naik sebesar 2,93 mm, 6% naik sebesar 3,10 mm, 6,5% naik sebesar 3,43 mm dan pada 7% mengalami kenaikan sebesar 3,80 mm. sehingga disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai Flow semakin tinggi. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada campuran normal semua memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana Flow memiliki nilai batas yaitu 2-4 .

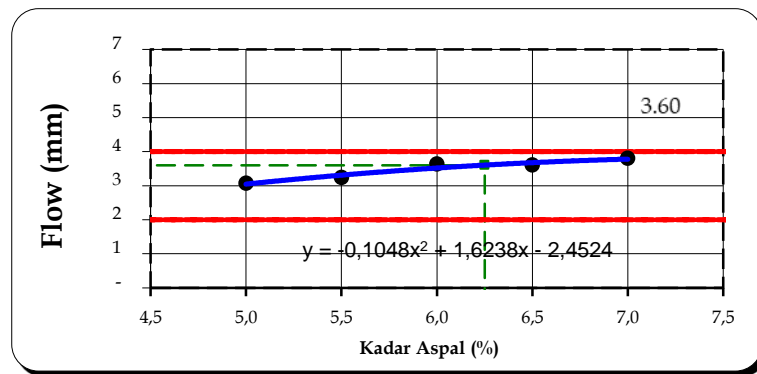
Hasil nilai *Flow* pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.28-4.30.



Gambar 4.28: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 3%.



Gambar 4.29: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 5%.

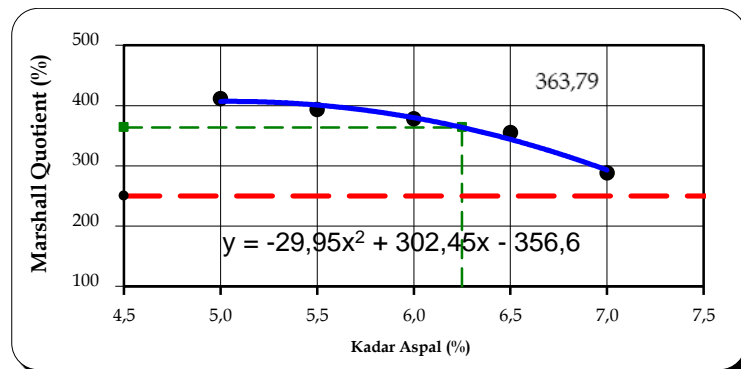


Gambar 4.30: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran Bentonit 7%.

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti filler Bentonit pada variasi 3% Flow mencapai 3,70 , variasi 5% Bentonit turun mencapai 3,45 mm dan pada variasi 7% naik mencapai 3,60 mm, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka Flow suatu campuran semakin menurun dan bisa juga meningkat.

7. Marshall Quotient (MQ)

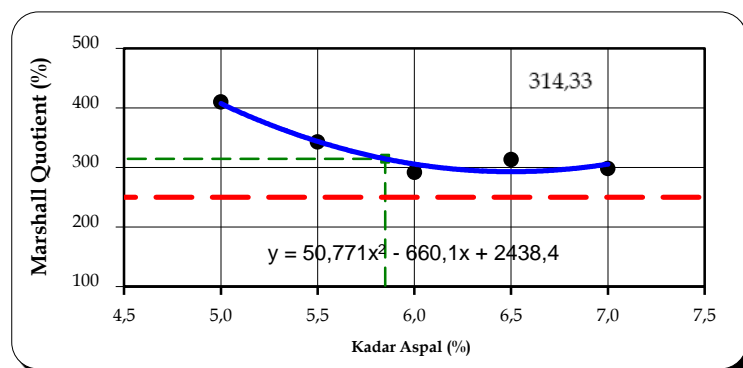
Hasil VMA pada aspal normal dilihat pada gambar 4.31.



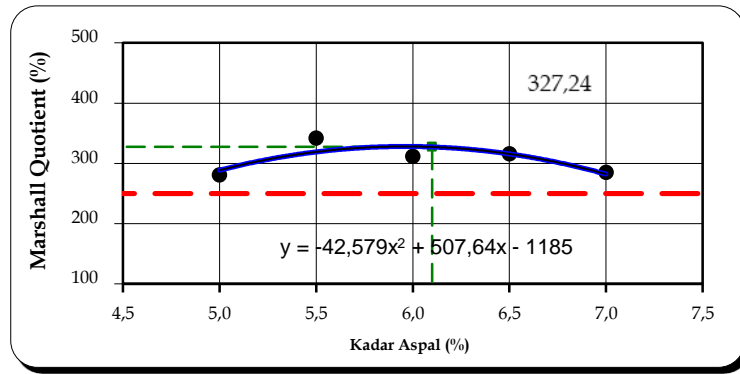
Gambar 4.31: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm)
Campuran Normal

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal normal pada penambahan kadar aspal 5% nilai MQ mencapai 411 kg/ mm, 5,5% turun menjadi 393 kg/mm, 6% kembali mengalami penurunan sebesar 378 kg/mm, 6,5% kembali mengalami penurunan 355 kg/mm dan pada kadar 7% juga mengalami penurunan 288 kg/mm. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada campuran normal semua memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dimana MQ memiliki nilai batas minimum yaitu 250 kg/mm.

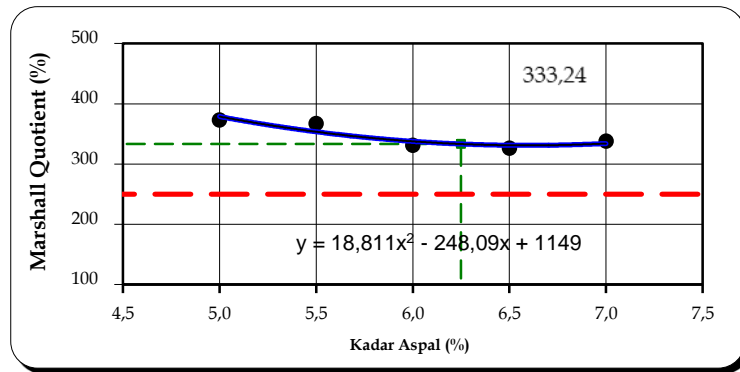
Hasil nilai *MQ* pada penambahan variasi pengganti *filler* Bentonit 3%, 5% dan 7% dapat dilihat pada gambar 4.32-4.34.



Gambar 4.32: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm)
Campuran Bentonit 3%



Gambar 4.33: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm)
Campuran Bentonit 5%



Gambar 4.34: Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan MQ (kg/mm)
Campuran Bentonit 7%

Dapat dilihat dari grafik diatas untuk campuran aspal dengan pengganti *filler* Bentonit pada variasi 3% MQ mencapai 314,33 kg/mm, variasi 5% Bentonit naik mencapai 327,24 kg/mm dan pada variasi 7% naik mencapai 333,24 kg/mm, sehingga disimpulkan bahwa semakin banyak Bentonit maka MQ suatu campuran semakin meningkat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan pengganti filler dengan Bentonit variasi 3%, 5% dan 7%, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan, karakteristik sifat *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan bahan pengganti filler dengan Bentonit 3, %, 5%, 7% berpengaruh baik Karena telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 seperti *Stability*, *Bulk Density*, VIM, VMA, VFA dan *Flow*.
2. Nilai Kadar Optimum yang dibutuhkan pada variasi 3% sebanyak 5,85%, 5% sebanyak 6,10% dan 3% sebanyak 6,25%.

5.2. Saran

1. Diharapkan Adanya penelitian lebih lanjut mengenai Pengganti *filler* dengan Bentonit pada *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) agar lebih banyak referensi yang didapat.
2. Dalam melakukan pengujian Analisa Saringan dan pengujian marshall di perlukan ketelitian agar tidak terjadi kesalahan.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional. (1990). SNI 03-1969-1990 : Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standardisasi Nasional, 2–5.
- Daniel S Bath, Jenal M Siregar & M Turmuzi Lubis. (2012). Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 1–4. <https://doi.org/10.32734/jtk.v1i1.1396>
- Darmadinata, M., Jumaeri & Sulistyaningsih, T. (2019). Pemanfaatan bentonit teraktivasi asam sulfat sebagai adsorben anion fosfat dalam air. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 1–8.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2, 6.1-6.104.
- Hamsyah dan Safri, J. (2020). Pengaruh Penambahan Serbuk Bentonit Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Edukasi Nonformal*, 1(2), 1–15.
- Hamzah, R. A., Kaseke, O. H., & Manopo, M. M. (2016). “Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang.” *Jurnal Sipil Statik*, 4(7), 447–452.
- Panjaitan, R. R. (2010). Kajian penggunaan bentonit dalam industri. *Berita Litbang Industri*, 45(3), 22–28.
- Safariadi, Erwan, H. K., & Akhmadali. (2018). Karakteristik Campuran Beraspal (Laston) Akibat Penggunaan Instant Powder Sebagai Pengganti Filler. *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(1), 1–15. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/24203>
- SNI 03-1970-1990. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus. Bandung: Badan Standardisasnisi Indonesia, 1–17.

SNI 06-2489. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Badan Standardisasi Nasional, 1, 7.

Suhardi. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jrsdd*, 4(2), 284–293. <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/viewFile/381/pdf>

Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas (Vol. 2)*. Yayasan Obor Indonesia.

Sulianti, I., Ibrahim, I., Subrianto, A., Monita, A., & Medici, M. (2019). Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam. *Forum Mekanika*, 8(2), 51–62. <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v8i2.653>

LAMPIRAN



Gambar L.1: Aspal Penetrasi 60/70



Gambar L.2 : Bentonit



Gambar L.3: Agregat Kasar CA 3/4 inch



Gambar L.4: Agregat Kasar MA 1/2 inch



Gambar L.5: Agregat Halus FA



Gambar L.6: Agregat Halus Pasir



Gambar L.7: Proses Penyaringan Agregat



Gambar L8: Proses Analisa Sarimgan



Gambar L9: Spec gravity



Gambar L10: Pemanasan Benda Uji



Gambar L11: Penumbukan Benda uji.



Gambar L12 : Proses pengeluaran Benda uji Dari Cetakan



Gambar L12 : Pengujian Marshall Dengan Alat Marshall Compression.



Gambar L 13: Benda uji Setelah dilakukan pengujian dengan Alat Marshall Compression.



Nomor : 029/AK-KWSM/EXT/XI/2022 Patumbak, 18 November 2022
Lampiran : -
Perihal : Konfirmasi Permohonan Pengambilan Data

**Kepada Yth,
Bapak/ibu Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Di -
Tempat.**

Up : Bapak Muhammad Husin Gultom, ST., MT.

Assalamu' Alaikum Wr. Wb

Dengan Hormat,

Sesuai dengan surat No. 1461/II.B-AU/UMSU-07/B/2022 tanggal 15 November 2022 Perihal Pengambilan data di PT. Adhi Karya (Persero) Tbk AMP Kawasan Medan, Maka dengan ini kami memberikan izin melakukan pengambilan data kepada mahasiswa yang tersebut dibawah ini:

Nama : Alta Rico Ibnu
NPM : 1907210061
Fakultas: Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Alamat : Jl. Mukhtar Basri No.3 Medan

Dengan persyaratan bahwa mahasiswa tersebut harus mematuhi ketentuan perusahaan. Demikianlah di sampaikan kami ucapkan terima kasih.

PT. ADHI KARYA (Persero) Tbk
AMP MEDAN

Rukijatno
Project Manager

Tembusan : **Arsip**

ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER
DENGAN BENTONIT TERHADAP KINERJA
PERKERASAN ASPAL

GRAFIK GRADASI CAMPURAN
AC WEARING COURSE



SUMBER MATERIAL : COLD BIN

UKURAN SARINGAN

Inch		3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	#100	# 200
mm		19	12,7	9,53	4,76	2,38	1,19	0,6	0,3	0,15	0,075

DATA MATERIAL

COARSE AGGREGATE 3/4		100,00	61,22	2,43	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGGREGATE 1/2"		100,00	100,00	97,99	45,76	28,57	11,54	8,35	2,55	1,56	1,27
FINE AGGREGATE		100,00	100,00	100,00	97,27	76,05	49,56	38,27	24,29	19,57	8,32
NATURAL SAND		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	82,80	56,80	24,38	5,83	0,92
SEMEN		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,44	88,84
BENTONIT		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	67,81	79,47

KOMPOSISI CAMPURAN

COARSE AGGREGATE 3/4	19	19,00	11,63	0,46	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGGREGATE 1/2"	34	34,00	34,00	33,32	15,56	9,71	3,92	2,84	0,87	0,53	0,43
FINE AGGREGATE	32	32,00	32,00	32,00	31,13	24,34	15,86	12,25	7,77	6,26	2,66
NATURAL SAND	8	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,62	4,55	1,95	0,47	0,07
Semen	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,89	1,78
Bentonit	5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,40	3,97
Total Campuran	100,00	100,00	92,63	89,78	61,72	49,95	33,41	26,64	17,59	13,54	8,92
Spec Max		100,00	100,00	90,00	69,00	53,00	40,00	30,00	22,00	15,00	9,00
Spec Min				90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00



Disetujui oleh
Quality Control

Asst. Staffin



ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER
DENGAN BENTONIT TERHADAP KINERJA
PERKERASAN ASPAL

GRAFIK GRADASI CAMPURAN
AC WEARING COURSE



SUMBER MATERIAL : COLD BIN

UKURAN SARINGAN

Inch		3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	#100	# 200
mm		19	12,7	9,53	4,76	2,38	1,19	0,6	0,3	0,15	0,075

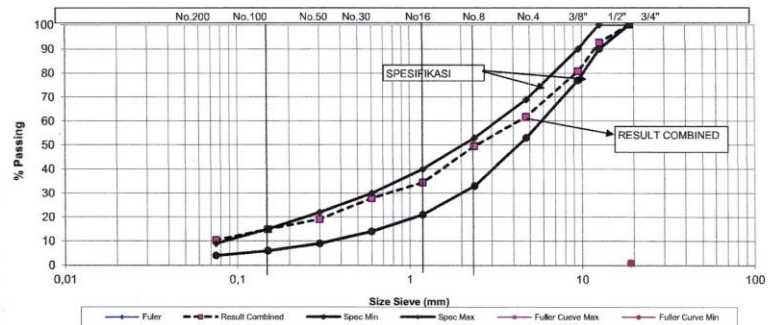
DATA MATERIAL

COARSE AGREGATE 3/4		100,00	61,22	2,43	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGREGATE 1/2"		100,00	100,00	97,99	45,76	28,57	11,54	8,35	2,55	1,56	1,27
FINE AGREGATE		100,00	100,00	100,00	97,27	76,05	49,56	38,27	24,29	19,57	8,32
NATURAL SAND		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	82,80	56,90	24,38	5,83	0,92
SEMEN		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,44	88,84
BENTONIT		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	87,81	79,47

KOMPOSISI CAMPURAN

COARSE AGGREGATE 3/4	19	19,00	11,63	0,46	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGGREGATE 1/2	34	34,00	34,00	33,32	15,56	9,71	3,92	2,84	0,87	0,53	0,43
FINE AGGREGATE	30	30,00	30,00	30,00	29,18	22,81	14,87	11,48	7,29	5,87	2,50
NATURAL SAND	8	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,62	4,55	1,95	0,47	0,07
Semen	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,89	1,78
Bentonit	7	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,15	5,56
Total Campuran	100,00	100,00	92,63	80,78	61,78	49,53	34,42	27,87	19,10	14,91	10,34

Spec Max		100,00	100,00	90,00	69,00	53,00	40,00	30,00	22,00	15,00	9,00
Spec Min		100,00	90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00	4,00



Disetujui Oleh
Quality Control
[Signature]
Abd. Saffrin

ANALISIS PENKALIBRASI PENGACIANTY ZILZER
DENGAN BERTUMBUH KINERJA PERKEMBANGAN ASPAL

MARSHALL TEST
(SNI 06-2185-1991)



PENGULIAN NORMAL

No/Sl	Kategori (%)	K _c (kg)	DMV (%)	Weight (gram)		Volume cc	Iari Weight (gram)		VMA (%)	VMI (%)	VIR (%)	Red Dist stability	Kallibrasi : 23 80			Maksimal Quantitas (%)	
				SS10	In WATER		Actual	Target					mm	mm	mm		
1	95,00	5,00	1185,3	1203,2	673,5	593,7	2,257	2,398	15,63	5,89	62,32	47	1119	1074	270	398	4,45
2	95,00	5,00	1193,7	1199,5	671,3	598,2	2,256	2,298	15,65	5,91	62,25	42	1090	960	230	417	4,45
3	95,00	5,00	1194,2	1205,5	675,1	590,4	2,252	2,298	15,62	6,10	61,44	44	1047	1005	240	419	4,45
Average		5,50	1176,3	1183,2	664,3	518,9	2,267	2,381	15,69	4,79	69,46	52	1238	1238	310	399	4,45
2	94,50	5,50	1189,4	1204,1	677,4	576,7	2,258	2,381	16,02	5,16	67,80	45	1071	1028	290	355	4,95
3	94,50	5,50	1182,0	1188,5	665,9	522,6	2,262	2,381	15,88	5,01	68,47	50	1190	1150	280	425	4,95
Average		6,00	1185,4	1183,2	670,3	522,9	2,267	2,380	16,14	4,75	70,57	54	1285	1285	310	298	5,45
2	94,00	6,00	1180,7	1188,1	679,4	518,7	2,296	2,380	15,08	3,55	76,47	40	952	952	320	298	5,45
3	94,00	6,00	1179,8	1187,1	668,6	518,5	2,275	2,380	15,83	4,39	72,23	53	1261	1261	300	420	5,45
Average		2,54	1,024	1,024	2,380	2,380	2,380	2,380	15,69	4,23	72,09				3,10	378	5,45

Rembes
 a = % Agregat
 b = % Agregat
 c = Berat Sampel (g)
 d = Berat Sampel SSD (g)
 e = Berat Sampel in Water (g)
 f = Volume Sampel (d - e)
 g = Berat Volume Agregat (c / f)

* GMM With AASHTO 208
 Degree of saturation K_{sat} (max)
 $K_{sat} = \frac{G_m - G_{mm}}{G_m - G_{mm}^{(100-10)S}} \times 100$
 K = 0,5 - 1 for Maxon, 2,0 - 3,0 for Maxon

** Bl. Eff. Agg
 $Bl. Eff. Agg = \frac{100 - VMA}{100} \times 100$
 h = Bl. Maximum (teoritis)

G_{mm} =
 $G_{mm} = \frac{100}{100 - VMA}$
 Bl. Eff. Agg =
 $Bl. Eff. Agg = \frac{100 - VMA}{100} \times 100$

*** Absorption Blument With aggregate
 $100 \times \frac{Bl. Eff. - Bl. Sikk}{Bl. Eff. \times Bl. Sikk} \times Bl. Blument$

q =
 $q = \frac{b}{100} \times Abs. Blument (100 - a)$

DISJUNTI CAH
 Kepala Gudang
 Gudang
 Gudang

ANALISIS PENGUKURAN PENGUKURAN FILTER
DENGAN METODE TITRASI TERHADAP KEMUDA PERMASALAN ASPAL

MARSHALL TEST
(SNI 06-2489-1991)
COLD BIN



PENGUKURAN NORMAL

No/Samp	Agregatue A/C mixer (%)		Weight (gram)		Volume		Total Weight (gram)		VMA (%)	VVI (%)	VTR (%)	Bead Dist stability	Kedalaman : 23.80			Flow mm	Marshall Quantar Kg/mm	% Bitumen Effort (%)
	a	b	SND	In WATER	CS	foel-e	foel-f	Actual					Testion	m	mm			
1	93.50	6.50	1186.2	1186.4	697.8	527.6	2.252	2.248	17.13	4.09	76.14	58	1333	1279	3.40	376	5.96	
2	93.50	6.50	1177.5	1184.2	649.1	535.1	2.201	2.248	19.63	6.28	66.97	54	1285	1224	3.60	343	5.96	
3	93.50	6.50	1194.2	1201.7	680.5	521.2	2.291	2.248	15.69	2.42	84.57	48	1142	1142	3.20	346	5.96	
Average							2.248	2.248	17.28	4.26	75.89							
1	93.00	7.00	1198.9	1207.4	674.8	532.6	2.251	2.232	17.61	3.47	80.30	52	1238	1188	4.20	283	6.46	
2	93.00	7.00	1187.4	1195.1	641.3	513.8	2.211	2.232	15.42	0.90	94.18	46	1071	1071	3.50	306	6.46	
3	93.00	7.00	1194.2	1202.3	662.5	549.8	2.172	2.232	20.50	6.86	66.56	48	1142	1015	3.70	275	6.46	
Average							2.245	2.232	17.24	3.74	80.34							

Bt, bulk	2.241	Bt, Bitumen	1.024	Gem	2.380	Bt, Eff. Agg	2.580	Avgp Bitumen	0.58
----------	-------	-------------	-------	-----	-------	--------------	-------	--------------	------

1 = % Reagen dalam Agg
100 = (100 - b) / Bt

100 = (100 - b) / Bt

100 x (Bt - Bt, bulk) / Bt

100 x (Bt - Bt, bulk) / Bt

* GMM With ASTM D 709
 Degree asphalt content Aggreg ready
 $PI = 0.035 (\%Ca) + 0.005 (\%MA) + 0.18 (\%FF) + K$
 $K = 0.5 - 1$ for labort, 2.0 - 3.0 for fieldon

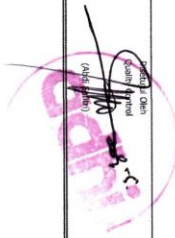
** Bt, Eff Agg
 $\frac{100 \times K}{100 - K}$

$Gem = \frac{\% Agg \times \% Bitumen}{100}$

1 = % Reagen dalam Agg
100 = (100 - b) / Bt

100 x (Bt - Bt, bulk) / Bt

100 x (Bt - Bt, bulk) / Bt





MARSHALL TEST
(SNI 06-2489-1991)
COLD BIN

KEMBARA PERKERASAN ASPHALT
PENGUJIAN BENTONIT 3%

No/Slu	Aggregate (%)	AC kelas (%)	DMV	JMV	Weight (gram)	In WATER	Value	Dm Weight (gram)	VMA (%)	VMI (%)	VRV (%)	Road	Dual	Kebijakan : 23,80			Flow	Marshall	% Bentonit
														Stabilitas	Coarction	mm			
1	95,00	5,00	1200,0	67,4	534,2	2,246	2,298	16,02	6,32	60,56	52	1248	1188	3,10	383	4,45	4,45		
2	95,00	5,00	1192,1	141,8	652,8	2,263	2,298	15,38	5,60	63,56	48	1142	1142	2,60	409	4,45	4,45		
3	95,00	5,00	1180,6	1180,6	862,2	2,285	2,298	14,47	4,59	65,28	50	1332	1385	3,40	408	4,45	4,45		
Average						2,266	2,298	15,29	5,50	64,13	50	1190	1190	3,30	361	4,95	4,95		
1	94,50	5,50	1178,8	1185,7	668,7	517,0	2,280	2,281	15,03	4,24	72,12	46	1095	1095	2,70	405	4,95		
2	94,50	5,50	1188,3	1195,4	675,3	520,1	2,271	2,281	15,47	4,54	70,64	55	1309	1309	5,00	262	4,95		
3	94,50	5,50	1187,8	1175,3	681,5	513,8	2,273	2,281	15,47	4,54	70,64	55	1309	1309	5,00	262	4,95		
Average						2,279	2,281	15,24	4,27	72,95	42	1000	1040	4,10	254	5,45	5,45		
1	94,00	6,00	1173,6	1181,2	675,4	505,8	2,230	2,280	14,16	2,51	82,29	48	1142	1142	3,80	301	5,45		
2	94,00	6,00	1181,5	1188,6	687,8	511,7	2,270	2,280	16,03	4,53	71,14	48	1023	1023	3,20	300	5,45		
3	94,00	6,00	1176,3	1183,9	684,2	519,7	2,285	2,280	15,27	4,90	69,89	43	1023	1023	3,20	300	5,45		
Average						2,285	2,280	15,49	4,01	74,44	43	1068	1068	3,70	291	5,45	5,45		
Bl. Buk	2,241	Bl. Blomont	1,024	Genm	2,390	Bl. Eff. Agg	2,390	Bl. Agg		0,38									

Kembara
 a = % Air dry by aggregate
 b = % Air dry by filler
 c = Weight Sample dry (gr)
 d = Weight Sample in Water (gr)
 e = Value Sample (d - e)
 f = Weight Volume Actual (c/f)

* GMV with ASTM D 208
 Degree absolute optimum flour finely
 R₁ = 0.035 (%CA) + 0.015 (%FA) + 0.18 (%f) + K
 K = 0.5 - 1 for base, 2.0 - 3.0 for Mason

** Bl. Eff. Agg
 100 - V_A
 Genm Bl. Agg

1 = % Rongga diantara Agg
 100 - (100 - V_A) / Bl. Agg agregat

*** Absorben Blomont With aggregate
 100 x Bl. Eff. Bl. Buk / Bl. Eff. x Bl. Buk

j = % Void With Water 100 - (100 g/h)
 k = % Void Rinsu Blomont 100 - (100 g/h)
 l = Rongga dry dan dry
 m = Rongga (k + Blomont kering (mg) / 1000)
 n = Rongga (k + Blomont kering (mg) / 1000)
 o = Flow (mm)
 p = Marshall Quotient (g/mm)

Genm = 100
 % Agg ± % Blomont
 Bl. Blomont / Bl. Blomont

Dipukul Oleh
 Diki (18/08/2019)

ANALISIS PENGACUAN PENGISANT FILLER ORGANIK BERBENTUK TERHADAP KEMUDA PERBESARAN ASPAL

MARSHALL TEST (SNI 06-2489-1991)



PENGISANTAN BERBENTUK 3%

No./Slu	Aggregate		A.C. content (%)		Dry		Wet		In water		Unit Weight (grams)	VMA (%)	VNI (%)	VTR (%)	Road Dual Stability	Stability Correction	Flow	Marshall Quantity	% Bitumen Effluent (%)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j									
1	93,50	6,50	1197,3	1175,8	659,8	516,0	2,62	2,348	2,348	2,348	16,76	3,66	76,18	48	1142	1442	5,00	228	5,96
2	93,50	6,50	1189,5	1200,4	687,4	533,0	2,332	2,348	2,348	17,88	4,86	77,28	58	1380	1325	3,60	368	5,96	
3	93,50	6,50	1174,2	1181,3	664,1	517,2	2,270	2,348	2,348	16,46	3,31	79,88	46	1095	1095	3,20	342	5,96	
Average																			
1	93,00	7,00	1192,1	1205,6	681,4	524,2	2,274	2,332	2,332	16,77	2,48	85,21	44	1047	1005	6,00	168	6,46	
2	93,00	7,00	1164,6	1171,5	651,5	520,0	2,240	2,332	2,332	18,03	3,96	76,04	55	1309	1309	2,90	451	6,46	
3	93,00	7,00	1185,3	1183,7	654,7	529,0	2,241	2,332	2,332	17,99	3,92	76,24	50	1190	1015	3,70	275	6,46	
Average																			

Remix: B1: 2,41 B2: 1,024 G: 2,380 B1 Eff: 2,580 B2 Eff: 2,580 A: 0,58

*** GRIW WITH AASHTO T 209**
 Degree asphalt optimum Aprox. finally
 $P_i = 0,031 (\%Ca) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + 4$
 $K = 0,5 - 1$ for basen, 2,0 - 3,0 for adalon

**** Bl, Eff 14%**
 $\frac{100 - 14}{100} = \frac{86}{100}$
 Bl: 2,068
 Eff: 1,456
 $h = \frac{100}{\text{Bl} + \text{Eff}}$
 $h = \frac{100}{2,068 + 1,456}$
 $h = 26,4$

% Rongga dengan Agg
 $1 = \frac{\text{Bl} + \text{Eff}}{100} \times 100$
 $1 = \frac{2,068 + 1,456}{100} \times 100$
 $1 = 35,24$

% Void With Near 100 - (100 p/b)
 $1 = \frac{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A}}{100} \times 100$
 $1 = \frac{2,068 + 1,456 + 0,58}{100} \times 100$
 $1 = 41,46$

Stability (1 x Correlation Samping) %
 $1 = \frac{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A}}{100} \times 100$
 $1 = \frac{2,068 + 1,456 + 0,58}{100} \times 100$
 $1 = 41,46$

Flow (mm)
 $1 = \frac{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A}}{100} \times 100$
 $1 = \frac{2,068 + 1,456 + 0,58}{100} \times 100$
 $1 = 41,46$

Marshall Quotient (G/mm)
 $1 = \frac{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A}}{100} \times 100$
 $1 = \frac{2,068 + 1,456 + 0,58}{100} \times 100$
 $1 = 41,46$

***** Absorben Bitumen With aggregate**
 $100 \times \frac{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A}}{\text{Bl} + \text{Eff} + \text{A} + \text{B}}$
 $100 \times \frac{2,068 + 1,456 + 0,58}{2,068 + 1,456 + 0,58 + 2,380}$
 $100 \times \frac{4,104}{6,938}$
 $100 \times 59,31$
 $59,31$

Produksi dan
 Quality Control
 Oleh Sdr
 (Signature)
 (Stamp)



MARSHALL TEST
(SNI DE-2489-1991)
COLD BIN

ANALISIS PENGARUH PENGANTI FILLER DENGAN BENTONIT

TEMAHADU KEMIRA PERKERASAN ASPHAL

RENCUKILAN BENTONIT 5%

No. Sta	Aggregate (%)	AC Content (%)	DRY	Weight (gram)			Volume cc	Irr Weight (gram)			VMA (%)	VFB (%)	VFB (%)	Red. Dist. stability	Kallid. Correlation	Dow	Marshall	Threat	% Blument	
				SSD	In WATER	SSD		Actual	Test	Test										Test
1	95.00	5.00	1168.2	1170.0	671.2	698.8	2.336	2.398	12.66	2.58	79.64	40	852	990	2.80	3.54	4.45	4.45		
	95.00	5.00	1168.0	1167.0	630.8	536.4	2.163	2.398	19.15	9.91	46.76	40	1190	1107	3.90	2.94	4.45	4.45		
	95.00	5.00	1164.9	1171.5	663.2	508.3	2.292	2.398	14.32	4.42	69.11	46	1095	1139	5.80	2.03	4.45	4.45		
Average																				
1	94.50	5.50	1174.2	1181.3	673.5	507.8	2.312	2.381	14.00	2.88	79.40	44	1047	1089	3.50	3.11	4.95	4.95		
2	94.50	5.50	1171.6	1180.5	664.3	516.2	2.270	2.381	15.59	4.68	70.01	53	1261	1261	4.10	3.08	4.95	4.95		
3	94.50	5.50	1184.4	1180.9	663.9	527.0	2.247	2.381	16.42	5.61	65.83	48	1142	1097	2.70	4.06	4.95	4.95		
Average																				
1	94.00	6.00	1179.7	1188.4	678.1	510.3	2.312	2.380	14.46	2.87	80.20	46	1071	1071	3.00	3.57	5.45	5.45		
2	94.00	6.00	1168.0	1180.1	666.5	511.6	2.285	2.380	15.47	3.99	74.20	40	952	952	4.00	2.38	5.45	5.45		
3	94.00	6.00	1175.0	1181.8	681.2	520.6	2.257	2.380	16.51	5.17	66.69	54	1285	1285	3.80	3.38	5.45	5.45		
Average																				
Bl. Unit	2.541	Bl. Blument	1.024	Demn	2.380	Bl. Eff. A88	3.580	Bl. Eff. A88	3.580	Bl. Eff. Blument	3.580	Bl. Eff. Blument	3.580	Bl. Eff. Blument	3.580	Bl. Eff. Blument	3.580	Bl. Eff. Blument	3.580	Bl. Eff. Blument

Remarks

a = % Aggregate by Aggregate
 b = % Aggregate by No. (Gr)
 c = Weight Sample SSD (Gr)
 d = Weight Sample in Water (Gr)
 e = Volume Sample (C - d)
 f = Weight Volume Actual (C / f)

g = % Blument
 h = Blument (h - g) / (100 - g)
 i = Blument (h - g) / (100 - g)

1 = % Sample Blument kg
 100 - (100 - h) / g

2 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

3 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

4 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

5 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

6 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

7 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

8 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

9 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

10 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

11 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

12 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

13 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

14 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

15 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

16 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

17 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

18 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

19 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

20 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

21 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

22 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

23 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

24 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

25 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

26 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

27 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

28 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

29 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

30 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

31 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

32 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

33 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

34 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

35 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

36 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

37 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

38 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

39 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

40 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

41 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

42 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

43 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

44 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

45 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

46 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

47 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

48 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

49 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

50 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

51 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

52 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

53 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

54 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

55 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

56 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

57 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

58 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

59 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

60 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

61 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

62 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

63 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

64 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

65 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

66 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

67 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

68 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

69 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

70 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

71 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

72 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

73 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

74 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

75 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

76 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

77 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

78 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

79 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

80 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

81 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

82 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

83 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

84 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

85 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

86 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

87 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

88 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

89 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

90 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

91 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

92 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

93 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

94 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

95 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

96 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

97 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

98 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

99 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

100 = % Blument Blument
 100 x Bl. Eff. Blument / Bl. Eff. Blument

Original
Quality Control
(Signature)
9/1

ANALISIS PENGARUH PENGGANTI FILLER DENGAN BENTOUT

MARSHALL TEST
(SNI 06-2489-1991)



TERIMAKAN KEMBALA PERKERASAN ASHAL

PENGULAN BENTOUT 5%

No. S/N	Aggregate (%)	A.C. Index (%)	DMV	Weight (gram)	In W/V TER	Volume cc	Tara Berat (gram)	Terdapat	VMA (%)	VMV (%)	VFB (%)	Road Stability	Stability Correction		Flow	Marshall Quotient	% Bimant Effekt (%)
													mm	kg			
1	93,50	6,50	1194,0	1194,2	679,9	513,3	2,507	2,248	15,12	1,76	88,33	42	1000	1000	2,40	417	5,96
2	93,50	6,50	1188,0	1187,5	674,5	526,0	2,259	2,248	16,89	3,81	77,43	40	952	914	4,80	190	5,96
3	93,50	6,50	1170,0	1178,8	657,1	521,7	2,243	2,248	17,48	4,49	74,21	50	1190	1190	3,50	340	5,96
Average							2,269	2,248	16,50	3,36	80,02		1025	1025	3,57	316	6,46
1	93,00	7,00	1188,7	1182,4	681,3	523,1	2,240	2,232	16,00	3,93	78,19	50	1190	1190	4,10	290	6,46
2	93,00	7,00	1181,4	1180,7	678,7	512,0	2,257	2,332	15,55	1,05	93,23	45	1071	1071	2,90	369	6,46
3	93,00	7,00	1186,6	1187,6	684,5	533,1	2,224	2,332	18,60	4,63	75,11	52	1238	1018	5,20	195	6,46
Average							2,257	2,332	17,28	3,20	82,18		1092	1092	4,07	285	6,46

Kalibrasi : 23,80

Remarks: 2,241 Bj Bimant 1,024 Gram 2,380 Bj Eff. Agg 2,280 Asep Bimant 0,58

a = % Aggregat by Agregate
 b = % Aggregat by Mak
 c = Weight Sample 50V (gr)
 d = Weight Sample 50V (gr)
 e = Volume Sample (d / a) (cc)
 f = Volume Sample (d / a) (cc)
 g = Weight/Volume Aktual (c / f)

* CDM WITH AASHTO T208
 Degree asphalt content above ready
 $P_g = 0,035 (\sqrt{C_b}) + 0,045 (\sqrt{P_b}) - 0,13$ (%FP) * K
 K = 0,5 - 1 for 8000, 2,0 - 3,0 for 40000

$1 = \frac{100 - VMA}{100 - VFA}$
 $100 = \frac{100 - VMA}{100 - VFA} \cdot 100$
 $100 - VMA = 100 - VFA$
 Gram = $\frac{100 - VMA}{100 - VFA} \cdot 100$

*** Absorption Surface With aggregate
 $100 \cdot \frac{b}{a} = \frac{b}{a} \cdot 100$
 $100 \cdot \frac{b}{a} = \frac{b}{a} \cdot 100$
 $b = \frac{a \cdot 100}{100}$

1 = % rongga daripada Agg
 100 = (100 - b) / 100
 100 = $\frac{100 - b}{100}$

j = % Void With Hour 100 - (100 g/h)
 k = % Void Field Bimant 100 - (1 - j) / 1
 l = Reading and stability
 m = Stability (% Correction proving ring) kg
 n = Stability (m x Correction Sample) kg
 o = Flow (mm)
 p = Marshall Quotient (kg/mm)

Disetujui Oleh
 (Signature)
 (Signature)
 (Signature)

ANALISIS PENGARAHAN PENGANTAR FILTER DENGAN BENTONIT
 TERHADAP CIRI-CIRI PERKESAM ASPAL

MARSHALL TEST
 (SNI 06-2489-1991)

COUD BIN



PENCUCIAN BENTONIT 7%

No. Sta	Kategori (%)	K.C. atau (%)	DMV	Weight (gram)	SSD	In WATER	Volume cc	Unit Weight (grams)	Actual	Theoretical	VMA (%)	VMI (%)	VTR (%)	Bead	Dial	Stability	Correlation	Flow	Marshall	% Bitumen
1	93,50	6,50	1176,7	1195,4	074,3	921,1	2,287	2,348	15,86	2,61	83,52	46	1095	1095	3,40	322	5,96	5,96	5,96	
2	93,50	6,50	1184,2	1194,2	668,6	518,6	2,287	2,348	18,04	5,14	71,50	44	1047	1005	2,40	419	5,96	5,96	5,96	
3	93,50	6,50	1191,4	1201,7	668,6	534,9	2,227	2,348	18,04	5,14	71,50	44	1047	1005	2,40	419	5,96	5,96	5,96	
Average																				
1	93,00	7,00	1182,0	1207,4	680,3	527,1	2,261	2,332	17,23	3,02	82,45	60	1428	1371	3,30	415	6,46	6,46	6,46	
2	93,00	7,00	1179,3	1179,6	668,6	511,2	2,283	2,332	16,43	2,08	87,24	54	1285	1285	5,20	247	6,46	6,46	6,46	
3	93,00	7,00	1188,2	1202,3	668,6	535,5	2,215	2,332	18,94	5,03	73,46	55	1309	1016	2,90	350	6,46	6,46	6,46	
Average																				

Blotir	2,54	Blotir	1,024	Gem	2,380	Bj Eff Agg	2,580	Asp Bitumen	0,58
--------	------	--------	-------	-----	-------	------------	-------	-------------	------

Remarks

a = % Asphalt by Aggregate
 b = % Asphalt by Mix
 c = Weight Sample dry (P)
 d = Weight Sample SSD (P)
 e = Weight Sample in Water (P)
 f = Volume Sample (c + e)
 g = Weight Volume Actual (c/f)

* GEM WITH ASTM D 759
 Degree of saturation Aggregativity
 $P_b = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.12 (\%FT) + K$
 $K = 0.5 - 1.1$ (for Blotir) 2.0 - 3.0 for lab test

** Bj Eff Agg
 $\frac{100 \cdot K_A}{G_{mm} + B_{blotir} \cdot m_{blotir}}$
 h = Blotir/mix (blotir)

Gem = $\frac{100}{\frac{\% Agg}{B_{blotir}} + \frac{\% Bitumen}{B_{blotir}}}$

1 = % Berapa dalam Agg
 $\frac{100 \cdot (100 - B)}{B}$

*** Absorption Blotir/Water aggregate
 $\frac{B_{eff} - B_{blotir}}{B_{blotir} - B_{blotir}}$ x B Blotir

g = % Blotir efektif
 $\frac{B_{eff} - B_{blotir}}{B_{blotir} - B_{blotir}}$

h = Abs. Blotir (100 - b)

Dipin Oleh
 Quality Control
 (Handwritten signature and stamp)

Daftar Riwayat Hidup



Data Diri Peserta

Nama Lengkap : Alta Rico Ibnu
Panggilan : Rico
Tempat, Tanggal Lahir : Patumbak, 03 Juni 2001
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jl. Pertahanan Patumbak, Jl. Lantasan
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Herman Ibnu
Ibu : Marlina Nasution
No.HP : 085230780860
E-Mail : altaricoibnu06@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1907210061
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan
20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD PAB 23	2013
2	SMP	MTSN 1 MEDAN	2016
3	SMA	MAN 3 MEDAN	2019
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2019 sampai selesai.		

