

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK CANGKANG TELUR
SEBAGAI *FILLER* TERHADAP CAMPURAN ASPHALT
CONCRATE-BINDER COURSE (AC-BC) DITINJAU DARI
KARAKTERISTIK MARSHALL, CANTABRO DAN ITS
(*THE EFFECT OF USING EGGSHELL POWDER AS FILLER
ON ASPHALT CONCRATE-BINDER COURSE (AC-BC)
VIEWED FROM THE CHARACTERISTICS OF MARSHALL,
CANTABRO AND ITS*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



MUADZ RIHADATUL AISY

18511007

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2024

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK CANGKANG TELUR SEBAGAI
FILLER TERHADAP CAMPURAN ASPHALT CONCRATE-BINDER
COURSE (AC-BC) DITINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL,
CANTABRO DAN ITS
(THE EFFECT OF USING EGGSHELL POWDER AS FILLER ON
ASPHALT CONCRATE-BINDER COURSE (AC-BC) VIEWED FROM THE
CHARACTERISTICS OF MARSHALL, CANTABRO AND ITS)**

Disusun Oleh:

Muadz Rihadatul Aisy
18511007

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 30 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK : 145110101

Penguji I

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110103

Penguji 2

Ir. Subarkah, M.T.
NIK: 865110101

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM
NIK: 095110101

13/9/2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila ada bagian - bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Penulis



Muadz Rihadatul Aisy

(18511007)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai *Filler* Terhadap Campuran *Asphalt Concrate – Binder Course (AC-BC)* Ditinjau dari Karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS* (*The Effect Of Using Eggshell Powder As Filler on Asphalt Concrate – Binder Course (AC-BC) Viewed from The Characteristicts Of Marshall, Cantabro, and ITS*). Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis dihadapi dengan banyak hambatan, namun berkat dorongn semangat, saran, dan juga kritik dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan arahan dan bimbingan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Subarkah, Ir., M.T. sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan evaluasi untuk perbaikan ke depan.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T, Ph.D.(Eng)., IPM. sebagai Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya UII yang telah mengizinkan dan memberikan arahan dalam penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Staff Laboratorium Jalan Raya UII, yang telah membantu dan membimbing penulis selama proses pengerjaan penelitian di Lab.

6. Bapak Djaenudin dan Ibu Sri Untari, selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan doa dan semangat.
7. Najwa Syifa Salsabila selaku saudara kandung penulis yang terus memberikan dorongan semangat untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Rayhan hafidzurrakhman dan Raka Haikal selaku teman dekat penulis yang banyak membantu selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, dan
9. Seluruh pihak yang telah mendukung penelitian Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 3 September 2024

Penulis



Muadz Rihadatul Aisy

(18511007)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batas Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Cangkang Telur sebagai <i>Filler</i> Pada campuran AC-WC	5
2.2 Kulit Telur sebagai agregat pada campuran HRS-WC	5
2.3 Abu Kulit Pinang sebagai <i>Filler</i> pada campuran AC-BC	5
2.4 Abu Cangkang Kemiri sebagai <i>Filler</i> pada campuran AC-BC	6
2.5 Abu Cangkang Kerang sebagai <i>Filler</i> pada campuran AC-BC	6
2.6 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Aspal Beton	10
3.2 Penyusun Campuran Perkerasan <i>Asphalt Concrete – Binder Course</i>	12
3.2.1 Agregat	12

3.2.2 Aspal	15
3.2.3 <i>Filler</i>	16
3.3 Cangkang Telur	16
3.4 Marshall Test	17
3.4.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)	17
3.4.2 Kelelahan Plastis (<i>flow</i>)	18
3.4.3 VFWA (<i>Void Filled with Asphalt</i>)	18
3.4.4 VITM (<i>Void in Total Mix</i>)	19
3.4.5 VMA (<i>Void in Mineral Aggregate</i>)	19
3.4.6 <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	20
3.4.7 Kepadatan (<i>Density</i>)	20
3.5 Cantabro Test	21
3.6 <i>ITS</i>	22
3.7 Analisis Statistik	22
BAB IV METODE PENELITIAN	24
4.1 Metode Penelitian	24
4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	24
4.2.1 Peralatan Penelitian	24
4.2.2 Bahan Penelitian	25
4.3 Tahapan Penelitian	25
4.3.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material	26
4.3.2 Perencanaan Campuran	27
4.3.3 Perencanaan Benda Uji	29
4.3.4 Pengujian <i>Marshall</i>	33
4.3.5 Pengujian <i>Cantabro</i>	35
4.3.6 Pengujian <i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	35
4.4 Analisis Data	35
4.5 Bagan Alir Penelitian	39
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
5.1 Pengujian Material	41
5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	41
5.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat Halus	42

5.1.3 Pengujian Karakteristik <i>Filler</i>	43
5.1.4 Pengujian Karakteristik Aspal	44
5.2 Hasil Pengujian	46
5.2.1 Hasil Pengujian	46
5.3 Analisis Data	48
5.3.1 Karakteristik <i>Marshall</i>	48
5.3.2 Karakteristik <i>Cantabro</i>	54
5.3.3 Karakteristik <i>ITS</i>	55
5.4 Pembahasan	56
5.4.1 Evaluasi Karakteristik <i>Marshall</i>	56
5.4.2 Evaluasi Karakteristik <i>Cantabro</i>	58
5.4.3 Evaluasi Karakteristik <i>ITS</i>	59
5.4.4 Evaluasi Statistik dengan <i>SPSS</i>	60
5.4.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	65
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis	8
Tabel 3.1	Ketentuan Agregat Kasar	13
Tabel 3.2	Ketentuan Agregat Halus	14
Tabel 3.3	Gradasi Agregat Aspal Laston (AC)	14
Tabel 3.4	Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras	15
Tabel 3.5	Persyaratan Campuran <i>Laston</i> (AC)	16
Tabel 4.1	Gradasi Agregat campuran AC-BC	28
Tabel 4.2	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%	30
Tabel 4.3	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%	31
Tabel 4.4	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%	31
Tabel 4.5	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%	32
Tabel 4.6	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%	32
Tabel 4.7	Jumlah Benda Uji untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)	33
Tabel 4.8	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian <i>Marshall</i> , <i>Cantabro</i> , dan <i>ITS</i>	33
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar	41
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Agregat Halus	42
Tabel 5.3	Hasil Pengujian <i>Filler</i>	44
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Aspal	44
Tabel 5.5	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> pada Campuran AC-BC	46
Tabel 5.6	Gradasi Agregat pada KAO	48
Tabel 5.7	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> AC-BC dengan Serbuk Cangkang telur sebagai <i>Filler</i>	49
Tabel 5.8	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> AC-BC dengan Serbuk Cangkang telur sebagai <i>Filler</i>	54
Tabel 5.9	Hasil Pengujian <i>ITS</i> AC-BC dengan Serbuk Cangkang Telur sebagai <i>Filler</i>	56

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran <i>AC-BC</i> dengan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi <i>Filler</i>	59
Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Statistika terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> <i>Cantabro</i> dan <i>ITS</i>	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Rencana <i>AC-BC</i>	28
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir	39
Gambar 5.1 Grafik KAO <i>AC-BC</i>	47
Gambar 5.2 Grafik nilai Stabilitas pada Campuran <i>AC-BC</i>	49
Gambar 5.3 Grafik nilai <i>Flow</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	50
Gambar 5.4 Grafik nilai <i>VITM</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	51
Gambar 5.5 Grafik nilai <i>VMA</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	51
Gambar 5.6 Grafik nilai <i>VFWA</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	52
Gambar 5.7 Grafik nilai <i>Density</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	53
Gambar 5.8 Grafik nilai <i>MQ</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	53
Gambar 5.9 Grafik nilai <i>Cantabro</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	55
Gambar 5.10 Grafik nilai <i>ITS</i> pada Campuran <i>AC-BC</i>	56
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Penelitian terdahulu	62
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Nilai <i>Flow</i> dengan Penelitian terdahulu	62
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Nilai <i>MQ</i> dengan Penelitian terdahulu	63
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Nilai <i>VITM</i> dengan Penelitian terdahulu	63
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Nilai <i>VMA</i> dengan Penelitian terdahulu	63
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Nilai <i>VFWA</i> dengan Penelitian terdahulu	64

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>American Association of State Highway and Transport Officials</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Standart Testing and Material</i>
<i>AC-BC</i>	= <i>Asphalt Concrete Binder Course</i>
<i>KAO</i>	= Kadar Aspal Optimum
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>TCE</i>	= <i>Trichloroethylene</i>
<i>VMA</i>	= <i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
<i>VITM</i>	= <i>Voids in the Mix</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Voids Filled with Asphalt</i>
<i>a</i>	= kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)
<i>A</i>	= berat piknometer dengan penutup (gr)
<i>A</i>	= persentase agregat kasar (%)
<i>Ao</i>	= konstanta
<i>B</i>	= berat piknometer berisi air (gr)
<i>B</i>	= persentase agregat halus (%)
<i>Ba</i>	= berat beton aspal padat di dalam air (gr)
<i>Bk</i>	= berat kering beton aspal padat (gr)
<i>Bssd</i>	= berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr)
<i>c</i>	= berat benda uji sebelum direndam (gr)
<i>C</i>	= berat piknometer berisi aspal (gr)
<i>CA</i>	= agregat kasar tertahan saringan No. 4
<i>d</i>	= berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr)

<i>d</i>	= diameter sampel (cm)
<i>D</i>	= berat piknometer berisi aspal dan air (gr)
<i>e</i>	= berat benda uji di dalam air (gr)
<i>f</i>	= volume benda uji (cm ³)
<i>F1</i>	= berat jenis agregat kasar
<i>F2</i>	= berat jenis agregat halus
<i>FA</i>	= agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200
<i>Filler</i>	= agregat halus lolos saringan No. 200
<i>g</i>	= nilai density (gr/cc)
<i>Ga</i>	= berat jenis aspal
<i>Gb</i>	= berat jenis aspal
<i>Gmb</i>	= berat jenis bulk dari beton aspal padat
<i>Gmm</i>	= berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan
<i>Gsb</i>	= berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat
<i>Gse</i>	= berat jenis bulk efektif agregat
<i>h</i>	= tinggi sampel (cm)
<i>H0</i>	= Tidak ada perbedaan secara signifikan pengaruh substitusi filler serbuk cangkang telur terhadap karakteristik campuran aspal AC-BC
<i>H1</i>	= Ada perbedaan signifikan pengaruh substitusi filler serbuk cangkang telur terhadap karakteristik campuran aspal AC-BC
<i>ITS</i>	= Kuar tarik tidak langsung (kg/cm ²)
<i>K</i>	= konstanta 0,5 – 1,0 untuk Laston dan Lataston
<i>L</i>	= persentase kehilangan berat (%)
<i>M</i>	= Memenuhi Spesifikasi
<i>Mo</i>	= berat sebelum diabrasi (gr)
<i>M1</i>	= berat setelah diabrasi (gr)
<i>MQ</i>	= nilai Marshall Quotient (kg/mm)

p	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
P_a	= kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%)
P_b	= kadar aspal perkiraan
P_s	= kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%)
P_{mm}	= persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%
P_{maks}	= beban puncak (kg)
P_{runtuh}	= beban puncak (kg)
q	= angka koreksi benda uji
q	= nilai stabilitas (kg)
r	= nilai kelelehan flow (mm)
S	= nilai stabilitas
S_a	= Berat jenis dalam keadaan semu (gr)
S_d	= Berat jenis dalam keadaan kering (gr)
S_s	= Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr)
TM	= Tidak Memenuhi Spesifikasi

ABSTRAK

Meningkatnya pembangunan infrastruktur jalan membuat kebutuhan akan bahan dasar konstruksi semakin meningkat. Campuran *AC-BC* merupakan campuran yang bergradasi agregat rapat/menerus, umumnya digunakan pada jalan – jalan dengan beban yang cukup berat. Limbah cangkang telur yang masih kurang pemanfaatannya ini digunakan sebagai inovasi untuk dijadikan substitusi *filler* pada suatu campuran perkerasan. Kadar *filler* serbuk cangkang telur yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat total *filler*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap campuran *AC-BC* ditinjau dari karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Bina Marga 2018. Penelitian ini diawali dengan melakukan pengujian fisik material seperti pengujian pada aspal, agregat dan *filler*. Kemudian mencari kadar aspal optimum yang akan digunakan. Tahap selanjutnya melakukan pengujian *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS* menggunakan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler*. Tahap terakhir yaitu melakukan analisis data, pembahasan dan membuat kesimpulan.

Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa nilai stabilitas, *flow*, *VFWA*, *density* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur. Nilai *VITM* dan *VMA* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur. Untuk nilai *MQ* mengalami kenaikan sampai batas optimumnya dan menurun setelahnya. Hasil pengujian *Cantabro* didapat bahwa nilai keausan atau kehilangan berat semakin kecil seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*, hasil ini menandakan bahwa campuran semakin baik terhadap menahan gesekan beban yang melintasinya. Hasil pengujian *ITS* mengalami kenaikan seiring bertambahnya variasi kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*, hal ini menandakan *filler* serbuk cangkang telur dapat mengikat agregat lebih baik yang membuat deformasi yang terjadi pada campuran lebih kecil dibanding dengan *filler* abu batu 100%.

Kata kunci: *AC-BC*, *Cantabro*, *ITS*, *Marshall*, Serbuk Cangkang Telur

ABSTRACT

The increasing development of road infrastructure has increased the need for basic construction materials. The AC-BC mixture is a mixture with a dense/continuous aggregate gradation, generally used on roads with quite heavy loads. Eggshell waste, which is still underutilized, is used as an innovation to be used as a filler substitute in a pavement mixture. The levels of eggshell powder filler used are 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of the total weight of the filler. This study aims to determine the effect of using eggshell powder as a filler substitute for the AC-BC mixture in terms of the characteristics of Marshall, Cantabro, and ITS.

The method used in this study refers to Bina Marga 2018. This study began by conducting physical material tests such as testing on asphalt, aggregate and filler. Then find the optimum asphalt content to be used. The next stage is to test Marshall, Cantabro, and ITS using eggshell powder as a filler substitute. The last stage is to analyze data, discuss and draw conclusions.

The Marshall test results showed that the stability, flow, VFWA, and density values increased with increasing levels of eggshell powder. The VITM and VMA values decreased with increasing levels of eggshell powder. The MQ value increased to its optimum limit and decreased thereafter. The Cantabro test results showed that the wear or weight loss value decreased with increasing levels of eggshell powder as a filler, this result indicates that the mixture is better at withstanding the friction of the load passing through it. The ITS test results increased with increasing variations in the levels of eggshell powder as a filler, this indicates that the eggshell powder filler can bind the aggregate better, which makes the deformation that occurs in the mixture smaller than the 100% rock ash filler.

Keywords: AC-BC, Cantabro, Eggshell Powder, ITS, Marshall

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia, aktivitas ekonomi dan kehidupan sehari-hari sangat berpengaruh dengan meningkatnya jumlah kendaraan yang beroperasi. Fenomena ini didasari oleh interaksi antar manusia dalam berbagai bidang. Tingginya jumlah kendaraan yang beroperasi menyebabkan kemacetan lalu lintas hingga kerusakan fisik pada jalan di berbagai daerah. Menyadari betapa pentingnya kelancaran dan kenyamanan dalam sistem transportasi bagi masyarakat, pemerintah telah berupaya meningkatkan kualitas dan kenyamanan transportasi di Indonesia melalui tindakan seperti perbaikan, pelebaran, dan juga pembangunan jalan baru. Meningkatnya pembangunan infrastruktur jalan guna menunjang aktivitas ekonomi dan kehidupan sehari-hari, kebutuhan akan bahan dasar konstruksi jalan juga semakin meningkat.

Modifikasi campuran pada perkerasan jalan adalah salah satu langkah yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas sarana dan prasarana transportasi jalan raya. Seperti modifikasi campuran pada perkerasan *AC-BC (Asphalt Concrete–Binder Course)*. Lapis aspal beton (Laston) sebagai bahan pengikat, dikenal dengan nama *AC-BC (Asphalt Concrete – Binder Course)*. Lapisan ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (*Base Course*) dengan lapis aus (*Wearing Course*) yang bergradasi agregat gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat.

Aspal merupakan salah satu komponen penting dalam perkerasan jalan yang berperan sebagai bahan pengikat. Selain itu, aspal juga berfungsi sebagai pengisi rongga dan pori antara agregat. Dalam merencanakan perkerasan yang sesuai dengan umur rencana, perlu memperhatikan komposisi material campurannya.

Bahan pengisi (*filler*) adalah salah satu komponen dalam campuran perkerasan yang memiliki persentase paling kecil. Meskipun demikian, bahan pengisi memiliki peran yang sangat penting dalam memodifikasi gradasi agregat

halus dalam campuran aspal. Hal ini memungkinkan peningkatan kepadatan campuran secara keseluruhan. Bahan yang akan dijadikan *filler* harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan lolos ayakan No. 200 (75 mikron).

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2023) produksi telur ayam di Indonesia pada tahun 2023 sebanyak 6.117.905 Ton. Setiap telur 10% dari beratnya merupakan cangkang telur, sehingga dalam satu tahun jumlah limbah cangkang telur pada tahun 2023 diperkirakan mencapai 611.790,5 Ton. Hal ini menyebabkan banyak limbah dari cangkang telur tersebut, akan tetapi limbah cangkang telur ayam yang sangat banyak ini masih kurang pemanfaatannya. Kebutuhan cangkang telur jika digunakan sebagai *filler* pada perkerasan jalan AC-BC dengan panjang 1 kilometer dan lebar 4 meter yaitu dibutuhkan cangkang telur sebanyak 15.344 Ton. Cangkang telur kering mengandung 95% kalsium karbonat dan berat 5,5 gram/butir. Kandungan kalsium yang cukup besar bisa dimanfaatkan sebagai bahan tambah pembuatan semen (Fitriani dkk, 2017).

Oleh karena itu, penulis tertarik meneliti tentang penggunaan serbuk cangkang telur sebagai bahan tambah pada campuran perkerasan AC-BC dengan serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Alasan peneliti menggunakan cangkang telur supaya limbah dari cangkang telur ini bisa bermanfaat khususnya dalam bidang konstruksi jalan raya. Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian tentang “Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai *Filler* terhadap Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* Ditinjau dari Karakteristik *Marshall*, *Cantabro* dan *ITS*”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap nilai karakteristik *Marshall*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap nilai keausan perkerasan (*Cantabro Test*)?
3. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi

filler terhadap nilai *indirect tensile strength (ITS)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Ruang lingkup pembahasan dari penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap karakteristik *Marshall*?
2. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap nilai keausan perkerasan (*Cantabro Test*)?
3. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* terhadap nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)*?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memberi pengetahuan tentang limbah cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai material bahan campuran dalam pembuatan perkerasan lapis aspal beton.
2. Memberikan alternatif bahan pengisi *Filler* yang lebih ekonomis dan mendaur ulang limbah cangkang telur yang masih kurang pemanfaatannya.

1.5 Batas Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah, maka diambil suatu batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada campuran aspal *AC-BC*.
2. Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kab. Kulonprogo, D.I. Yogyakarta.
3. Bahan pengisi (*filler*) yang dipakai yaitu lolos ayakan no. 200 (0,075 mm) yaitu menggunakan serbuk cangkang telur Ayam.
4. Variasi kadar *filler* serbuk cangkang telur adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat total *filler*.
5. Bahan pengikat menggunakan aspal dari Pertamina dengan penetrasi 60/70.

6. Pengujian yang dilakukan adalah *Marshall Test*, *Cantabro Test* dan *Indirect Tensile Strength (ITS)*.
7. Persyaratan Bina Marga yang digunakan adalah persyaratan Bina Marga 2018.
8. Penelitian ini dilakukan di Lab. Jalan Raya Universitas Islam Indonesia.
9. Perbandingan kinerja terhadap berat total saja tidak memperhitungkan volumenya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cangkang Telur Sebagai *Filler* Pada Campuran AC-WC

Rumbyarso dan Ulum (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik cangkang telur bebek ras petelur sebagai *filler* pada campuran aspal AC-WC dengan menggunakan metode pengujian *Marshall Test*. Variasi yang digunakan yaitu semen 100%, semen 50% - cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100%. Hasil dari penelitian ini didapat bahwa aspal beton dengan mutu paling baik yaitu dengan kadar bahan pengisi (*Filler*) semen 50%-cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100%. Nilai stabilitas dan nilai *Flow* telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan dimana nilai stabilitas minimum adalah 800 kg (SNI 03-1737-1989) nilai *Flow* minimum 3 mm (SNI 03-1737-1989).

2.2 Kulit Telur Sebagai Agregat Pada Campuran HRS-WC

Nurhakim dkk. (2020) melakukan penelitian yang bertujuan mengetahui pengaruh penggunaan limbah kulit telur sebagai bahan pengganti agregat halus 0/5 ditinjau dari nilai *Marshall Test* pada campuran HRS-WC. Variasi kadar kulit telur yang digunakan yakni 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kadar limbah kulit telur dengan persentase 25% dan 50% dilihat dari nilai stabilitas, *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *MQ* telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 akan tetapi pada variasi 75% dan 100% tidak layak digunakan sebagai bahan pengganti agregat 0/5 dikarenakan nilai *Marshall Quoentient* (MQ) mengalami penurunan.

2.3 Abu Kulit Pinang Sebagai *Filler* Pada Campuran AC-BC

Utami dkk. (2020) melakukan penelitian yang bertujuan mengetahui karakteristik campuran AC-BC dengan menggunakan abu kulit pinang sebagai *filler*. Aspal yang digunakan yaitu aspal pen 60/70 dengan kadar aspal optimum 5% dengan variasi campuran abu kulit pinang 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil

dari penelitian ini menunjukkan bahwa persentase kadang abu kulit pinang terbaik berada di 50% dan 75% dikarenakan nilai *Flow* masuk kedalam spesifikasi yang ditentukan. Untuk *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi terjadi pada variasi filler 100% dengan nilai 2082,32 Kg/mm. Apabila nilai *Marshall Quotient* terlalu tinggi, campuran dapat menjadi kaku dengan fleksibilitas yang rendah, sehingga meningkatkan risiko retak pada perkerasan. Sebaliknya, jika *Marshall Quotient* terlalu rendah, campuran cenderung terlalu plastis.

2.4 Abu Cangkang Kemiri Sebagai *Filler* Pada Campuran AC-BC

Agustian dan Agusmaniza (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengkaji bagaimana pemanfaatan Abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal AC-BC terhadap karakteristik *Marshall*. Kadar persentase perbandingan ACK terhadap berat *filler* itu sendiri adalah 0%, 10% dan 20%. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60-70. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa semakin meningkatnya kadar persentase ACK dalam campuran aspal, akan semakin meningkat pula stabilitasnya. Pada penggunaan 20% ACK, diperoleh nilai stabilitas tertinggi sebesar 2.373,06 kg. Semakin tinggi persentase ACK dalam campuran, maka nilai *VIM* akan semakin rendah, sementara nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan *VFA* akan meningkat. Namun, nilai *VMA* dan *density* tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kadar persentase ACK yang lebih tinggi dalam campuran laston lapis pengikat (AC-BC) cenderung menyebabkan penurunan nilai pelelehan.

2.5 Abu Cangkang Kerang Sebagai *Filler* Pada Campuran AC-BC

Sari (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan dari serbuk abu cangkang kerang sebagai bahan pengganti Sebagian *filler* pada campuran aspal AC-BC terhadap karakteristik *Marshall*. Variasi *filler* serbuk abu cangkang kerang yang digunakan sebesar 15% dan 25%. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan filler abu cangkang kemiri dengan kadar 15% dan 25% untuk nilai stabilitas, densitas, *VIM*, *VMA* dan *MQ* telah memenuhi standar spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2010 revisi 1. Nilai stabilitas untuk kadar 15% sebesar 1192 Kg dan 25% sebesar 1245 Kg. Nilai *VIM* untuk

kadar 15% % sebesar 3,35 % dan 25% sebesar 3,10%. Nilai *VMA* untuk kadar 15% sebesar 16,25 Kg/mm dan 25% sebesar 16,10 Kg/mm. Nilai *MQ* untuk kadar 5% sebesar 305,00% dan 25% sebesar 300 %.

2.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

Peneliti	Rumbyarso dan Ulum (2021)	Nurhakim dkk. (2020)	Utami dkk. (2020)	Agustian dan Agusmaniza (2021)	Sari (2021)	Peneliti (2023)
Judul Penelitian	Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal Beton	Pengaruh pemanfaatan limbah kulit telur sebagai bahan pengganti agregat halus 0/5 pada lapisan aspal <i>HRS-WC</i> ditinjau dari nilai <i>Marshall Test</i>	Abu kulit pinang sebagai pengganti <i>filler</i> pada campuran <i>AC-BC</i>	Evaluasi Karakteristik Campuran <i>AC-BC</i> menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi <i>Filler</i> terhadap Parameter <i>Marshall</i>	Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal	Pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai <i>filler</i> terhadap campuran <i>Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)</i> ditinjau dari karakteristik <i>Marshall</i> , <i>Cantabro</i> dan <i>ITS</i> .
Tujuan Penelitian	mengetahui karakteristik cangkang telur bebek ras petelur sebagai <i>filler</i> pada campuran aspal AC-WC dengan menggunakan metode pengujian <i>Marshall Test</i> .	mengetahui pengaruh penggunaan limbah kulit telur sebagai bahan pengganti agregat halus 0/5 ditinjau dari nilai <i>Marshall Test</i> pada campuran <i>HRS-WC</i>	mengetahui karakteristik campuran <i>AC-BC</i> dengan menggunakan abu kulit pinang sebagai <i>filler</i> .	mengkaji bagaimana pemanfaatan Abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi (<i>filler</i>) dalam campuran aspal AC-BC terhadap karakteristik <i>Marshall</i>	mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan dari serbuk abu cangkang kerrang sebagai bahan pengganti Sebagian <i>filler</i> pada campuran aspal AC-BC terhadap karakteristik <i>Marshall</i> .	Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang telur untuk bahan tambah <i>filler</i> terhadap karakteristik <i>Marshall Test</i> , <i>Cantabro Test</i> dan <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>
Jenis Campuran	<i>AC-WC</i>	<i>HRS-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-BC</i>
Bahan Ikat	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70

Sumber: Rumbyarso dan Ulum (2021), Nurhakim dkk. (2020), Utami dkk. (2020), Agustian dan Agusmaniza (2021), Sari (2021)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

Peneliti	Rumbyarso dan Ulum (2021)	Nurhakim dkk. (2020)	Utami dkk. (2020)	Agustian dan Agusmaniza (2021)	Sari (2021)	Peneliti (2023)
Bahan Tambah	Cangkang telur	Cangkang telur	Abu kulit Pinang	Abu cangkang Kemiri	Abu cangkang Kerang	Cangkang telur
Metode pengujian	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test, Cantabro Test dan Indirect Tensile Strength (ITS)</i>
Hasil Pengujian	aspal beton dengan mutu paling baik yaitu dengan kadar bahan pengisi (<i>Filler</i>) semen 50%-cangkang telur bebek ras petelur 50% dan cangkang telur bebek ras petelur 100%. Nilai stabilitas dan nilai <i>Flow</i> telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan dimana nilai stabilitas minimum adalah 800 kg (SNI 03-1737-1989) nilai <i>Flow</i> minimum 3 mm (SNI 03-1737-1989).	variasi kadar limbah kulit telur dengan persentase 25% dan 50% dilihat dari nilai stabilitas, <i>Flow</i> , VIM, VMA, VFA dan MQ telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 akan tetapi pada variasi 75% dan 100% tidak layak digunakan sebagai bahan pengganti agregat 0/5 dikarenakan nilai <i>Marshall Quotient</i> (MQ) mengalami penurunan.	persentase kadang abu kulit pinang terbaik berada di 50% dan 75% dikarenakan nilai <i>Flow</i> masuk kedalam spesifikasi yang ditentukan. Untuk <i>Marshall Quotient</i> (MQ) tertinggi terjadi pada variasi <i>filler</i> 100% dengan nilai 2082,32 Kg/mm.	Semakin meningkatnya kadar ACK dalam campuran aspal, akan semakin meningkat pula stabilitasnya. Nilai VIM akan menurun seiring semakin besar kadar ACK, sementara nilai MQ dan VFWA akan meningkat. Untuk nilai pelelehan akan menurun seiring bertambahnya kadar ACK.	Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan filler abu cangkang kemiri dengan kadar 15% dan 25% untuk nilai stabilitas, densitas, VIM, VMA dan MQ telah memenuhi standar spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2010 revisi 1.	-

Sumber: Rumbyarso dan Ulum (2021), Nurhakim dkk. (2020), Utami dkk. (2020), Agustian dan Agusmaniza (2021), Sari (2021)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Aspal Beton

Aspal Beton merupakan komponen utama dalam konstruksi jalan raya. Lapisan ini terdiri dari campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus. Proses pembuatan melibatkan pencampuran, penghamparan, dan pemadatan campuran dalam kondisi panas dengan suhu tertentu. Material agregat yang digunakan mencakup campuran agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang bergradasi baik. Seluruh campuran ini kemudian dicampur dengan aspal dengan tingkat penetrasi tertentu sebelum diaplikasikan pada permukaan jalan.

Kelebihan aspal beton atau laston dibandingkan dengan bahan-bahan lain antara lain, aspal beton memiliki kemampuan yang mendukung beban berat kendaraan, khususnya beban yang tinggi. Selain itu, bahan untuk pembuatan aspal beton sangat mudah didapatkan. Aspal beton juga memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca sehingga mampu bertahan berbagai kondisi iklim.

Menurut Sukirman (2003), aspal beton dapat diklasifikasi berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk aspal beton dan fungsi aspal beton.

1. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran:
 - a. Aspal beton campuran panas (*Hot Mix*) adalah jenis aspal beton di mana material pembentukan dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
 - b. Aspal beton campuran sedang (*Warm Mix*) adalah jenis aspal beton di mana material pembentukan dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
 - c. Aspal beton campuran dingin (*Cold Mix*) adalah jenis aspal beton di mana material pembentukan dicampur pada suhu sekitar 25°C.
2. Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat dibedakan atas:
 - a. Aspal beton untuk lapisan aus (*Wearing Course*) adalah lapisan perkerasan jalan yang berada dalam kontak langsung dengan ban kendaraan. Lapisan ini

memiliki sifat kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan.

- b. Aspal beton untuk lapisan pondasi (*Binder Course*) merupakan lapisan perkerasan jalan yang terletak di bawah lapisan aus. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, namun tetap harus memiliki stabilitas yang cukup untuk menahan beban lalu lintas yang diberikan oleh roda kendaraan.
- c. Aspal beton digunakan untuk membentuk dan meratakan lapisan-lapisan aspal beton yang sudah mengalami keausan dan seringkali tidak lagi memiliki bentuk crown (permukaan cembung).

Menurut Bina Marga (2018) jenis aspal beton campuran panas (*hotmix*) adalah sebagai berikut.

1. *Stone Matrix Asphalt* (SMA) yang terdiri dari tiga jenis yaitu SMA tipis, SMA halus dan SMA kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran 12,5 mm, 19 mm dan 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 (*Laston*) yang terdiri dari dua jenis campuran yaitu HRS Fondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS-Wearing Course*). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi agregat kasar lebih besar daripada HRS-WC.
3. Lapis aspal beton (*Laston*) yang terdiri dari tiga jenis yaitu 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 dan 37,5 mm. setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal modifikasi disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi dan AC-Base Modifikasi.

Pada penelitian ini akan meninjau campuran aspal beton dengan jenis laston pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC).

3.2 Bahan Penyusun Perkerasan *Asphalt Concrete* – *Binder Course*

Lapis perkerasan jalan terdiri dari agregat dan bahan ikat aspal yang dikombinasikan menjadi campuran aspal yang padat. Campuran ini umumnya digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan raya. Bahan yang diperlukan dalam pekerjaan tersebut adalah sebagai berikut.

3.2.1. Agregat

Agregat adalah partikel-partikel batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya, baik alami maupun buatan, yang berbentuk mineral padat dengan ukuran yang bervariasi, baik itu berukuran besar maupun kecil, atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2003)

Agregat memegang peran utama dalam struktur perkerasan jalan, dengan sekitar 90% - 95% berdasarkan persentase berat, atau 75% - 85% berdasarkan persentase volume, menjadi komponen agregat. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan juga ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan bahan lainnya (Wijayati, 2016). Secara umum ada dua jenis agregat, yaitu Agregat kasar dan Agregat halus.

1. Agregat Kasar

Menurut Bina Marga (2018) fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm), agregat juga harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat ini harus berasal dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan. Adapun ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini sebagai berikut.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			metode pengujian	Nilai
kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat			maks. 18%
abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	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 7619:2012	100/90 ^{*)}
		Lainnya		95/90 ^{**))}
Partikel pipih dan lonjong		SMA	SNI 8287:2016	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Bina Marga (2018)

Catatan:

*) 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.

**) 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. Agregat Halus

Menurut Bina Marga (2018) agregat halus bisa berasal dari sumber manapun, hal ini terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras dan bebas dari lempung atau bebas dari bahan yang tidak dikehendaknya. Agregat halus harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.

Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus

No	Pengujian	Standar	Nilai
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
2	Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4	Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Bina Marga (2018)

Gradasi agregat merupakan sebaran ukuran butir-butir agregat dalam suatu campuran. Jenis gradasi agregat ditentukan oleh distribusi ukuran agregat dengan ukuran tertentu yang terdapat dalam campuran tersebut. Gradasi Agregat untuk campuran Aspal Laston (AC) bisa dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Aspal Laston (AC)

Ukuran ayakan		% Berat yang lolos terhadap Total agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 ½"	37.5	-	-	100
1"	25	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12.5	90-100	75-90	60-78
⅜"	9.5	77-90	66-82	52-71
No.4	4.75	53-69	46-64	34-54
No. 8	2.36	33-53	30-49	26-41
No. 16	1.18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0.6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0.3	9-22	7-20	6-15
No. 100	0.15	6-15	5-13	4-10
No. 200	0.075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Bina Marga (2018)

3.2.2. Aspal

Aspal atau bitumen adalah materi berwarna hitam kecoklatan yang memiliki sifat viskoelastis. Aspal akan menjadi lebih lunak dan mencair ketika dipanaskan dan sebaliknya akan mengeras ketika didinginkan. Sifat viskoelastis ini memungkinkan aspal untuk membentuk lapisan yang menyelimuti dan menahan agregat tetap pada posisinya selama proses produksi dan selama masa penggunaannya. Pada penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan persyaratan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras

No	Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60-70 - <i>wax</i>
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	55-68
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≤ 3000
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 49
4	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	ASSHTO T44-14	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	$\leq 2,2$
9	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	
	Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RFOT (SNI-03-6835-2002):		
10	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
11	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
12	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber: Bina Marga (2018)

Kadar aspal optimal ditentukan dengan menggunakan metode pengujian Marshall pada benda uji yang dikenai sejumlah tumbukan tertentu berdasarkan klasifikasi lalu lintas yang ditentukan. Berikut persyaratan untuk menentukan kadar aspal optimum terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks	1,4		
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	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2		

Sumber: Bina Marga (2018)

3.2.3. Filler

Bahan pengisi (*filler*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89(2014), semen atau abu terbang tipe C dan F yang sudah disetujui oleh pengawas pekerjaan. Bahan pengisi seperti semen hanya boleh untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen. 60-70. Bahan yang akan dijadikan *filler* harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan lolos ayakan No. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya (Bina Marga, 2018).

3.3 Cangkang Telur

Produksi telur Ayam petelur di Indonesia terus meningkat selama telur Ayam diproduksi di bidang peternakan serta digunakan di restoran, pabrik roti dan mie sebagai bahan baku pembuatan makanan. Menurut data Direktorat Jenderal

Peternakan (2023), produksi telur Ayam di Yogyakarta dan Indonesia pada tahun 2022, masing-masing sebesar 168.303 ton dan 5.566.339 ton. Produksi cangkang telur Ayam ini selalu mengalami kenaikan di setiap tahunnya. Kulit telur Ayam kering memiliki kandungan sekitar 95% kalsium karbonat dengan berat sekitar 5,5 gram/butir. Selain itu, rata-rata kulit telur mengandung sekitar 3% fosfor dan 3% campuran magnesium, natrium, kalium, seng, mangan, besi, dan tembaga (Butcher dan Miles, 1990).

3.4 *Marshall Test*

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall dan kemudian telah disempurnakan melalui beberapa modifikasi yang disahkan oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi (ASTM D 1559-76) (AASHTO T245-90). Perangkat yang digunakan dalam pengujian *Marshall* adalah sebuah perangkat uji yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur stabilitas nilai campuran aspal beton, sementara *flowmeter* digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan plastis atau *flow*. Prinsip dasar metode *Marshall* adalah melakukan pemeriksaan terhadap stabilitas dan kelelahan (*flow*) dari campuran padat aspal beton, serta menganalisis tingkat kepadatan dari pori-pori yang terbentuk dalam campuran tersebut. Parameter yang digunakan untuk menentukan *Marshall Test* antara lain adalah stabilitas (*stability*), kelelahan plastis (*flow*), VFWA (*Void Filled with Asphalt*), VITM (*Void in the Total Mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), MQ (*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*).

3.4.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas dalam metode *Marshall* merujuk pada kemampuan campuran beton aspal untuk menahan beban hingga mencapai titik kelelahan plastis. Nilai stabilitas ini diukur dalam kilogram, pound, atau kilonewton. Proses pengukuran stabilitas dilakukan dengan membaca arloji stabilitas selama pengujian *Marshall*. Jika nilai stabilitas campuran aspal beton terlalu tinggi, maka perkerasan yang

dihasilkan akan menjadi terlalu kaku. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$S = p \times q \quad (3.1)$$

Keterangan:

S = angka stabilitas

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = koreksi tebal benda uji

3.4.2. Kelelehan Plastis (*flow*)

Kelelehan plastis adalah keadaan di mana campuran aspal mengalami perubahan bentuk karena beban yang diterapkan mencapai batas runtuh. Kelelehan plastis ini diukur dalam satuan panjang seperti milimeter (mm) atau 0,01 inci. Angka flow diperoleh dari pembacaan arloji yang mengindikasikan deformasi benda uji dalam satuan panjang, yaitu milimeter (mm).

3.4.3. VFWA (*Void Filled with Asphalt*)

VFWA (*Void Filled with Asphalt*) adalah persentase volume rongga dalam campuran aspal yang telah diisi dengan aspal. Nilai VFWA akan meningkat seiring peningkatan kadar aspal dalam campuran hingga mencapai batas tertentu, di mana rongga-rongga tersebut telah terisi penuh. Nilai VFWA dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$VFWA = \frac{100 - (VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$VFWA$ = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (%).

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%).

$VITM$ = volume pori beton aspal padat (%).

3.4.4. *VITM (Void in Total Mix)*

VITM (Void in Total Mix) merupakan volume pori atau udara yang masih tersisa dalam campuran aspal beton setelah proses pemadatan. Semakin besar jumlah rongga atau pori dalam campuran aspal beton, maka tingkat kepadatannya akan menjadi semakin rendah. Sebaliknya, jika jumlah rongga berkurang atau pori terisi dengan aspal, maka tingkat kepadatan campuran akan meningkat. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 berikut.

$$VITM = \left(100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{g_{MM}} \right) \% \quad (3.3)$$

Keterangan:

VITM = volume pori beton aspal padat (%).

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan.

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat.

3.4.5. *VMA (Void in Mineral Aggregate)*

Rongga antar mineral agregat (*VMA*) merupakan area kosong di antara partikel agregat dalam suatu perkerasan. Ini mencakup ruang udara dan volume aspal yang benar-benar dapat mempengaruhi perkerasan, tanpa memperhitungkan volume aspal yang diserap oleh agregat. Semakin banyak kadar aspal dalam perkerasan, maka nilai *VMA* juga akan meningkat. Dengan nilai *VMA* yang lebih tinggi, nilai *flow* dari perkerasan akan meningkat. Namun, meskipun *flow* meningkat, stabilitas perkerasan akan mengalami penurunan. Dengan kata lain, peningkatan *VMA* dapat meningkatkan *flow*, tetapi juga mengurangi stabilitas perkerasan. Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 berikut.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \% \quad (3.4)$$

Keterangan:

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%).

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat.

P_s = kadar agregat terhadap berat betonaspal padat (%).

G_{sb} = berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat.

3.4.6. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara stabilitas dan nilai *flow* dari perkerasan. Dalam metode perencanaan perkerasan dengan menggunakan metode *Marshall*, nilai *MQ* dijadikan sebagai pendekatan untuk mengukur fleksibilitas perkerasan. Nilai *MQ* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.5)$$

Keterangan:

MQ = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

q = nilai stabilitas (kg)

r = nilai kelelehan *flow* (mm)

3.4.7. *Kepadatan (Density)*

Nilai kepadatan atau *density* menggambarkan tingkat kepadatan dari suatu campuran setelah diperoleh. Semakin tinggi nilai *density* campuran menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih baik. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7 berikut.

$$g = c/(f) \quad (3.6)$$

$$f = d-e \quad (3.7)$$

Keterangan:

- g = nilai density (gr/cc)
- c = berat benda uji sebelum direndam (gr),
- d = berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr)
- e = berat benda uji di dalam air (gr)
- f = volume benda uji (cm³).

3.5 *Cantabro Test*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur resistensi suatu benda uji terhadap keausan dengan menggunakan perangkat mesin *Los Angeles*. Benda uji didiamkan selama 48 jam pada suhu ruangan dan minimal 6 jam sebelum pengujian. Sebelum dimasukkan ke dalam drum mesin *Los Angeles*, benda uji pertama-tama ditimbang untuk mendapatkan berat awal sebelum mengalami abrasi (*Mo*). Kemudian, benda uji dimasukkan ke dalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Mesin *Los Angeles* dioperasikan pada kecepatan antara 30-33 rpm untuk melakukan 300 putaran. Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dan ditimbang untuk mendapatkan berat setelah mengalami abrasi (*Mi*). Kehilangan berat dapat diperoleh dari Persamaan 3.8 berikut.

$$L = \frac{Mo - Mi}{Mo} \times 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan:

- Mo = berat sebelum diabrasi (gr)
- Mi = berat setelah diabrasi (gr), dan
- L = persentase kehilangan berat (%)

3.6 ITS

Indirect Tensile Strength (ITS) merupakan sebuah teknik pengujian yang digunakan untuk mendapatkan kekuatan tarik tidak langsung dari campuran aspal. Kekuatan tarik ini umumnya digunakan untuk menilai kemungkinan retakan dalam campuran aspal, dengan sifat pengujian ini berfokus pada kegagalan dalam gaya tarik yang berguna dalam memproyeksikan potensi retakan. *Indirect Tensile Strength* (ITS) merupakan nilai maksimum gaya tarik yang dihitung dari puncak beban, sebagaimana yang dijelaskan dalam Persamaan 3.9 berikut.

$$ITS = \frac{Pruntuh}{h} \times A_o \quad (3.9)$$

Keterangan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm²)

Pruntuh = beban puncak (kg)

h = tinggi sampel (cm)

A_o = konstanta

3.7 Analisis Statistik

Penelitian ini menggunakan analisis statistik, khususnya metode *Anova*, untuk memahami dampak yang timbul akibat penambahan substitusi filler kedalam campuran aspal *AC-BC*. Data yang di analisis seperti karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS* dengan parameter kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler* dianalisis dengan menggunakan analisis statistik *Anova* satu arah. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar serbuk cangkang telur sebagai pengganti *filler*. Sementara itu, variabel terikatnya mencakup karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *Indirect Tensile Strength*. Analisis statistik *Anova* satu arah adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1)

Uji hipotesis bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh dari masing – masing variable vaktor.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 - \dots - \mu_k$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 - \dots - \mu_k$$

2. Menentukan nilai α atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.

3. Mencari nilai df atau derajat kebebasan

4. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel

Jika nilai F-hitung $>$ F-tabel; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Jika nilai F-hitung $<$ F-tabel; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

5. Perumusan Keputusan H_0 dan H_1

H_0 : tidak ada perbedaan secara signifikan pengaruh substitusi *filler* serbuk cangkang telur terhadap karakteristik campuran aspal AC-BC

H_1 : ada perbedaan signifikan pengaruh substitusi *filler* serbuk cangkang telur terhadap karakteristik campuran aspal AC-BC

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pendekatan eksperimental kausal (sebab-akibat) baik dalam proses pengumpulan maupun analisis data. Tipe penelitian ini bisa dipahami sebagai suatu penyelidikan yang objektif, terstruktur, dan terkendali dengan tujuan memproyeksikan hasil akhir dari sebuah studi yang menginvestigasi hubungan sebab-akibat. Gejala yang muncul (variabel terikat) disebabkan secara sengaja melalui manipulasi, di mana variabel bebas yang dimaksud adalah persentase penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* sedangkan variabel terikat adalah karakteristik *Marshall*, *Cantabro Test*, dan *ITS*. Acuan yang dipakai dalam penelitian ini adalah Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil dari penelitian ini akan dipaparkan dan dijelaskan dalam sebuah naskah, lengkap dengan data-data yang berasal dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan.

4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

4.2.1. Peralatan Penelitian

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat Pengujian agregat dan *filler*

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu, mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar (penyusunan gradasi agregat) dan *vibrator*, alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (*picnometer*, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *Sand Equivalent*.

2. Alat pengujian aspal

Alat yang akan digunakan dalam pengujian aspal pada penelitian ini yaitu, alat uji penetrasi, alat uji titik lemek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, dan alat uji kelarutan.

3. Alat pengujian metode *Marshall*

Alat yang digunakan dalam pengujian Marshall yaitu sebagai berikut.

- a. Alat tekan marshall yang terdiri dari penekan berbentuk lengkung, incing penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lbs),
- b. Arloji pengukur kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01 in) dengan perlengkapannya,
- c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001 in),
- d. Cetakan benda uji dengan bentuk silinder yang mempunyai diameter 10 mm (4 in) dengan perlengkapannya,
- e. Sebuah alat penumbuk dengan permukaan rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18 in),
- f. Ejector yang berguna untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan,
- g. Bak perendam (*waterbath*) yang sudah dilengkapi pengatur suhu,
- h. Alat-alat yang bisa menunjang pengujian seperti panci pencampur, kompor pemanas, thermometer, kipas angin, sendok untuk mengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan dan cat untuk menamai benda uji.

4.2.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar dan agregat halus berasal dari Clereng, Kulon Progo.
2. Bahan ikat menggunakan aspal Pertamina dengan Penetrasi 60/70, dan
3. Serbuk cangkang telur Ayam didapat dari Toko Abee Umee di Kab. Kediri, Jawa Timur

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan bertahap dimulai dari persiapan dan pemeriksaan material, persiapan alat, pembuatan benda uji, melakukan *Marshall Test*, *Cantabro Test*, dan pengujian kuat tarik tak langsung (*ITS*).

4.3.1. Persiapan dan Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material bertujuan untuk mengetahui kelayakan bahan tersebut, apakah sudah memenuhi standar yang ditetapkan atau belum. Proses pemeriksaan material ini mengacu pada standar SNI, ASTM, dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Di bawah ini tercantum metode pengujian untuk agregat dan aspal.

1. Pengujian Agregat

a. Pengujian penyerapan air agregat (SNI 1969:2016)

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui tingkat penyerapan air oleh agregat.

b. Pengujian berat jenis agregat (SNI 1970:2016)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry* (SSD) dan berat jenis semu (*apparent*) dari agregat.

c. Pengujian Kelekatan Aspal pada Agregat (SNI 2439:2011)

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui daya lekat agregat terhadap aspal.

d. Pengujian analisa saringan

Tujuan dari pengujian ini untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan.

e. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI 3423:2008)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar debu atau lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.

f. Pengujian keausan agregat (SNI-2417:2008)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai keausan agregat.

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian penetrasi aspal (SNI 2456-2011)

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui nilai penetrasi aspal yang akan dipakai.

b. Pengujian titik lembek (SNI 06-2434-2011)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui di temperatur berapa

aspal mengalami perubahan bentuk padat menjadi cair.

c. Pengujian berat jenis aspal (SNI 2411-2011)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer.

d. Pengujian daktilitas (SNI 2432-2011)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi aspal dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

e. Pengujian titik nyala dan titik bakar (SNI 2433-2011)

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi suhu di mana aspal mulai melepaskan nyala singkat pada titik tertentu di permukaannya (disebut titik nyala), serta suhu di mana nyala aspal dapat terlihat setidaknya selama lima detik (dikenal sebagai titik bakar).

f. Pengujian Kelarutan Dalam *Trichloroethylene* (AASHTO T44-14)

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui jumlah aspal yang larut dalam *Trichloroethylene*.

4.3.2. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan Campuran *AC-BC*

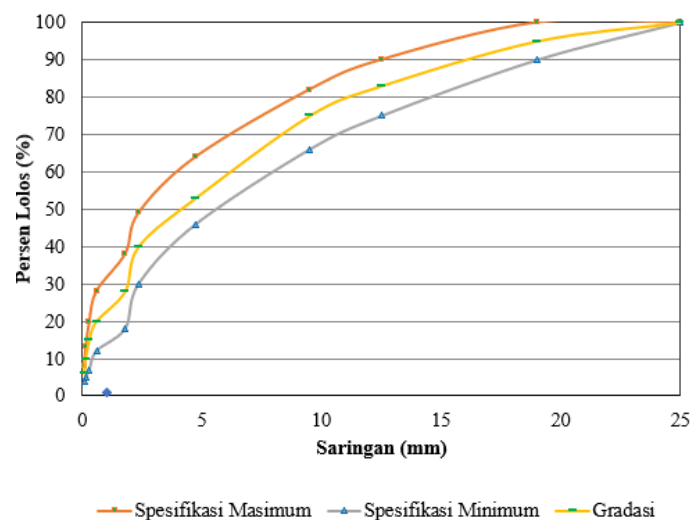
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal harus diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material dalam campuran *AC-BC*. Langkah ini dilakukan guna mengetahui apakah material tersebut sudah memenuhi persyaratan atau belum. Setelah melalui proses pengujian sifat fisik agregat dan aspal, langkah berikutnya adalah melakukan penyaringan pada agregat menggunakan saringan yang telah ditetapkan sebagai standar. Acuan gradasi agregat yang akan digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. gradasi agregat campuran perkerasan *AC-BC* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran AC-BC

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4
PAN				6

Sumber: Umum Bina Marga (2018)

Grafik gradasi agregat rencana campuran perkerasan AC-BC dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.

**Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Rencana AC-BC**

- Perencanaan Campuran AC-BC dengan serbuk cangkang telur Ayam
Filler yang digunakan dalam campuran ini adalah serbuk cangkang telur Ayam dan Abu batu. Komposisi perbandingan serbuk cangkang telur Ayam

dan abu batu pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat *filler*. Cangking telur yang akan dipakai sebagai *filler* harus dibersihkan terlebih dulu dari debu dan kotoran lalu dikeringkan, setelah itu dihancurkan sampai ukurannya memenuhi syarat untuk dijadikan *filler* pada campuran AC-BC.

4.3.3. Perencanaan Jumlah Benda Uji

1. Perhitungan kadar aspal rencana

Untuk mengestimasi kadar aspal optimum, nilai tersebut diperoleh secara empiris menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + K \quad (4.1)$$

Keterangan:

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,

FA = agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta 0,5 – 1,0 untuk Laston dan Lataston

Nilai hasil perhitungan untuk kadar P_b dibulatkan hingga mendekati 0,5%. Kemudian, akan ditentukan 2 kadar aspal di atas dan 2 kadar aspal di bawah kadar aspal perkiraan awal yang telah dibulatkan mendekati 0,5%. Berdasarkan hasil gradasi campuran Tabel 4.1 maka dapat dihitung nilai P_b dari campuran tersebut.

$$\%CA = (100-53)\% = 47\%$$

$$\%FA = (53-6)\% = 47\%$$

$$\%Filler = 6\%$$

Dalam penelitian ini digunakan nilai konstanta 1.

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

$$P_b = 0,035 (47\%) + 0,045 (47\%) + 0,18 (6\%) + 1$$

$$P_b = 5,84\% \sim 6\%$$

Dengan mengacu pada hasil perhitungan perkiraan awal (P_b), persyaratan kadar aspal untuk campuran AC-BC adalah minimum 6%. Setelah itu, dilakukan serangkaian pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan variasi kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% terhadap total berat campuran. Kebutuhan agregat pada tiap-tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1140	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1083	57,00
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	946,20	136,80
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	855,00	91,20
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	604,20	250,80
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	456,00	148,20
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	319,20	136,80
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	228,00	91,20
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	171,00	57,00
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	114,00	57,00
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	68,40	45,60
PAN				6	0,00	68,40
Total						1140

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1134	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1077,3	56,7
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	941,22	136,08
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	850,5	90,72
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	601,02	249,48
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	453,6	147,42
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	317,52	136,08
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	226,8	90,72
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	170,1	56,7
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	113,4	56,7
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	68,04	45,36
PAN				6	0	68,04
Total						1134

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1128	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1071,6	56,4
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	936,24	135,36
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	846	90,24
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	597,84	248,16
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	451,2	146,64
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	315,84	135,36
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	225,6	90,24
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	169,2	56,4
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	112,8	56,4
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	67,68	45,12
PAN				6	0	67,68
Total						1128

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1122	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1065,9	56,1
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	931,26	134,64
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	841,5	89,76
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	594,66	246,84
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	448,8	145,86
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	314,16	134,64
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	224,4	89,76
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	168,3	56,1
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	112,2	56,1
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	67,32	44,88
PAN				6	0,00	67,32
Total						1122

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1116	0
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1060,2	55,8
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	926,28	133,92
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	837	89,28
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	591,48	245,52
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	446,4	145,08
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	312,48	133,92
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	223,2	89,28
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	167,4	55,8
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	111,6	55,8
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	66,96	44,64
PAN				6	0,00	66,96
Total						1116

Jumlah benda uji yang akan digunakan untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Jenis Aspal	Variasi Kadar Aspal (%)				
	5	5,5	6	6,5	7
Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	3	3	3	3	3
Total 15 Buah					

2. Perhitungan untuk Tiap Pengujian

Dalam penelitian ini benda uji dibuat di setiap pengujiannya yaitu pengujian *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*. Jumlah benda uji untuk tiap pengujian setelah didapatkan nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*

Jenis Pengujian	Variasi Serbuk Cangkang Telur (%)					Jumlah Benda Uji (Buah)
	0	25	50	75	100	
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	15
<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3	15
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3	15
Total						45

Total benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah 60 buah benda uji.

4.3.4. Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* ini mengacu pada AASHTO T-245-74 dan ASTM D-1559-62 T, langkah-langkah dari pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Agregat disaring sesuai gradasi yang sudah direncanakan menggunakan saringan, lalu timbang dan simpan di suatu tempat sesuaikan dengan

kebutuhan kadar aspal yang akan di uji,

2. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dipanaskan sampai suhu 150 °C
3. Aspal Pen 60/70 dipanaskan hingga suhu 160°C - 170°C,
4. Agregat dan aspal yang sudah panas dicampurkan, lalu aduk agregat dan aspal tersebut hingga agregat terlapisi merata,
5. Setelah temperatur pemadatan tercapai, campuran dimasukkan kedalam cetakan (*mold*) yang sudah diolesi oli terlebih dahulu dan bagian bawahnya dilapisi selembar kertas minyak yang ukurannya menyesuaikan ukuran cetakan sambil ditumbuk-tumbuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali untuk bagian tengah,
6. Objek dipadatkan menggunakan alat penumbuk dengan melakukan 75 kali tumbukan pada bagian permukaan atas, lalu membalikkan objek dan melakukan 75 kali pemukulan pada bagian bawah dengan jumlah tumbukan yang sama,
7. Setelah selesai proses pemadatan, benda uji disimpan sampai suhunya turun sampai suhu ruangan. Setelah dingin, benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode,
8. Benda uji dibersihkan dari kotoran dan debu yang menempel,
9. Benda uji diukur dimensinya pada tiga sisi yang berbeda, lalu di rata-rata menggunakan alat pengukur dengan tingkat penelitian 0,1 mm,
10. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering,
11. benda uji direndam selama kurang lebih 24 jam pada suhu ruangan agar nantinya benda uji dalam keadaan jenuh air,
12. Benda uji ditimbang dalam air,
13. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan dengan kain pada permukaannya agar kondisinya menjadi kering permukaan jenuh (SSD), lalu melakukan penimbangan,
14. Benda uji direndam dalam *waterbath* selama 30 menit pada suhu 60° C $\pm$ 1°C,
15. Membersihkan dan melumasi batang penuntun (*guide road*) dan permukaan dalam kepala penekan (*test head*) agar kepala penekan dapat berjalan tanpa hambatan,

16. Benda uji dikeluarkan dari *waterbath* dan dipasangkan ring lalu diletakan pada piston pendorong,
17. Arloji kelelahan (*flow meter*) dipasangkan pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*),
18. Kepala penekan benda uji dinaikan supaya menyentuh alas cincin penguji, lalu mengatur kedudukan arloji tekan pada angka nol,
19. Melakukan pembebanan dengan kecepatan yang tetap di 50 mm/menit, sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan mencatat pembebanan maksimum yang tercapai (stabilitas) serta angka pada arloji kelelahan (*flow*),
20. Setelah selesai, benda uji dilepas dan dicatat hasil yang didapat dilanjutkan dengan menganalisis data tersebut.

4.3.5. Pengujian *Cantabro*

Langkah-langkah pengujian *Cantabro* adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibuat sebanyak 15 buah,
2. Memasukan benda uji kedalam mesin *Los Angeles*,
3. Menjalankan mesin *Los Angeles* dengan putaran mesin sebanyak 300 putaran,
4. Mencatat nilai dari hasil pengujian, dan
5. Menganalisis dan membuat pembahasan.

4.3.6. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Langkah-langkah pengujian *ITS* adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibuat sebanyak 15 buah,
2. Benda uji diletakan pada alat pengujian *ITS*,
3. Mencatan nilai dari hasil pengujian, dan
4. Menganalisis dan membuat pembahasan.

4.4 Analisis Data

Berikut ini adalah analisis data yang dilakukan setelah melakukan pengujian.

1. Analisis Parameter *Marshall*

Berikut adalah data yang didapat dari pengujian Marshall.

- a. Berat benda uji dalam keadaan kering (gr),
- b. Berat benda uji dalam air (gr),
- c. Berat benda uji dalam kondisi jenuh (gr),
- d. Tebal benda uji (cm),
- e. Pembacaan dial stabilitas (Kg), dan
- f. Pembacaan dial keelehan atau *flow* (mm).

Nilai-nilai parameter *Marshall* yang dapat dihitung yaitu sebagai berikut:

- a. Berat jenis aspal

$$BJ \text{ Aspal} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.2)$$

Keterangan:

- A = Berat piknometer dengan penutup (gr),
 B = Berat piknometer terisi air dan penutup (gr),
 C = Berat piknometer terisi aspal dan penutup(gr),
 D = Berat piknometer terisi aspal dan air dengan penutup (gr).

- b. Berat jenis agregat kasar dan penyerapan air

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (4.3)$$

$$S_s = \frac{B}{(B-C)} \quad (4.4)$$

$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (4.5)$$

$$S_w = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \quad (4.6)$$

Keterangan:

S_d = Berat jenis dalam keadaan kering (gr),

S_s = Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr),

S_a = Berat jenis dalam keadaan semu (gr),

S_w = Penyerapan Air (%),

A = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gr),

B = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr), dan

C = Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gr).

c. Berat jenis agregat halus dan penyerapan air

$$S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (4.7)$$

$$S_s = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (4.8)$$

$$S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (4.9)$$

$$S_w = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (4.10)$$

Keterangan:

S_d = Berat jenis dalam keadaan kering (gr),

S_s = Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr),

S_a = Berat jenis dalam keadaan semu (gr),

S_w = Penyerapan Air (%),

A = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gr),

B = Berat piknometer dengan terisi air (gr)

C = Berat piknometer dengan terisi benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr), dan

S = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

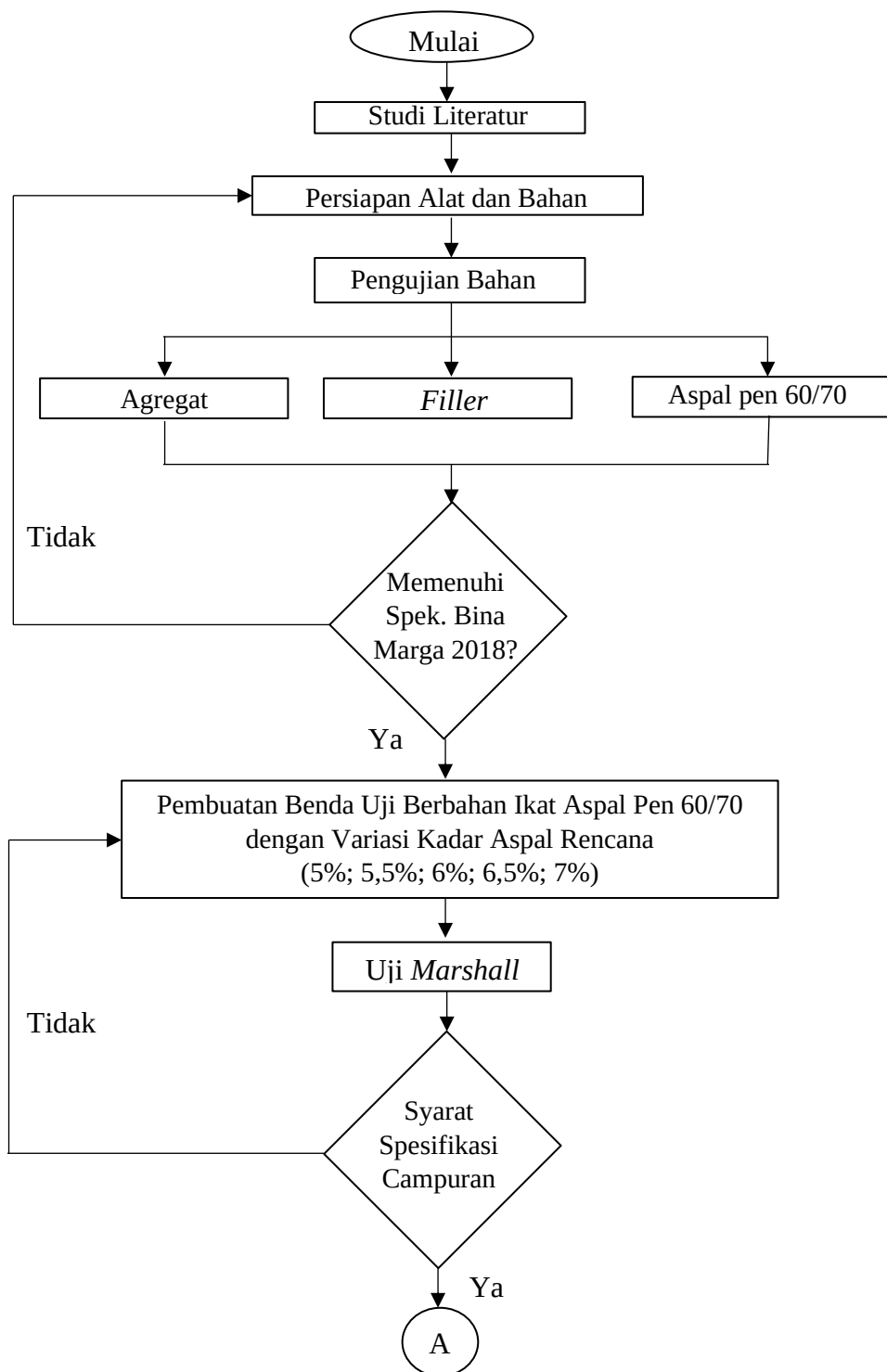
d. Nilai stabilitas menggunakan Persamaan 3.1,

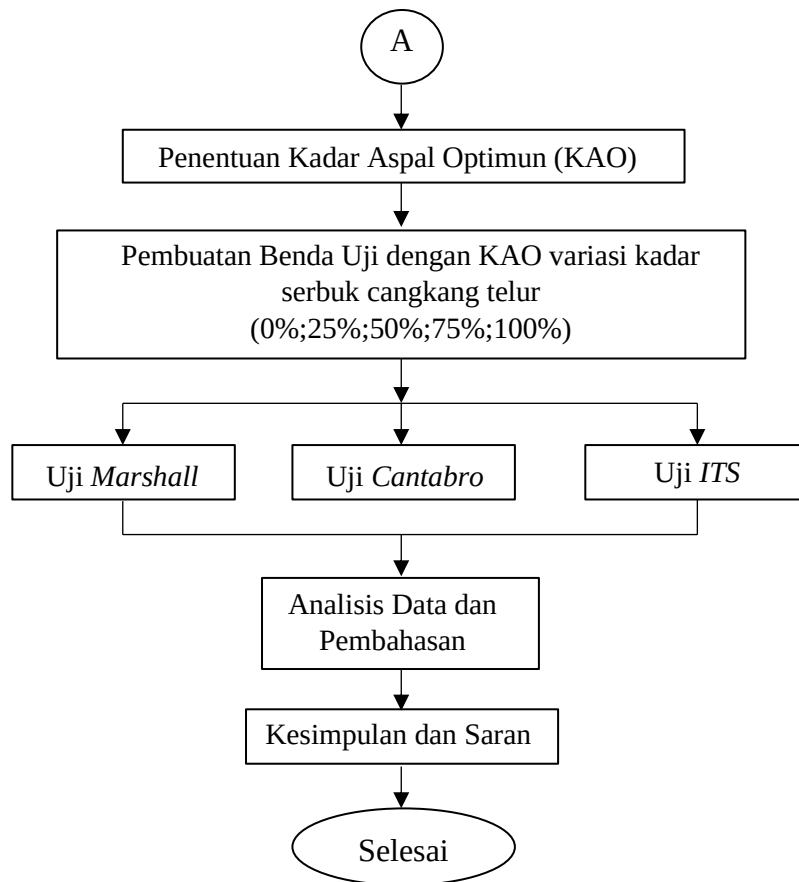
e. Nilai keelehan (*flow*) didapat dari pembacaan arloji keelehan,

- f. Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFWA) menggunakan Persamaan 3.2,
 - g. Nilai *Voids in Total Mix* (VITM) menggunakan Persamaan 3.3,
 - h. Nilai *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) menggunakan Persamaan 3.4,
 - i. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) menggunakan Persamaan 3.5.
2. Analisis Kadar Aspal Optimum (KAO)
- Pemilihan Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan metode *Marshall* dan harus memenuhi persyaratan berikut.
- a. Nilai *flow* minimal 2 dan maksimum 4
 - b. Nilai VMA dengan persyaratan minimal 14%,
 - c. Nilai VITM dengan persyaratan 3%-5%,
 - d. Nilai VFWA dengan persyaratan minimal 65%,
 - e. Nilai *Stability* minimal 800
 - f. Nilai MQ minimal 250
3. Analisis *Cantabro test*
- Nilai *Cantabro Test* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.8.
4. Analisis *Indirect Tensile Strenght Test*
- Nilai *Indirect Tensile Strenght* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9.
5. Analisis Statistik dengan SPSS
- Analisis statistika menggunakan uji statistic ANOVA satu arah

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir (*flowchart*) merupakan gambaran singkat mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.





Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Pengujian material yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian pada agregat kasar, agregat halus, dan karakteristik aspal yang akan digunakan. Tujuan dilakukannya pengujian material ini adalah untuk mengetahui kelayakan material yang akan digunakan.

5.1.1. Pengujian karakteristik Agregat Kasar

Agregat Kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta dan pengujian dilakukan di laboratorium jalan raya. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,62	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2,25	Maks. 3	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat terhadap Aspal (%)	98,00	Min. 95	Memenuhi
4	Keasusan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	22,08	Maks. 40	Memenuhi

Uraian terkait pengujian agregat kasar diatas adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat suatu material dengan volume yang sama terhadap berat air pada suhu tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar yang berasal dari Clereng pada penelitian ini sebesar 2,62 gr/cm². Hasil ini sudah memenuhi spesifikasi

yang sudah di tentukan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 2,5 \text{ gr/cm}^2$.

2. Penyerapan Agregat Kasar terhadap Air

Penyerapan agregat kasar terhadap air menunjukkan tingkat atau kapasitas suatu agregat untuk menyerap air melalui rongga atau pori-pori pada agregat tersebut. Agregat dengan kadar pori-pori yang besar memerlukan lebih banyak aspal karena nilai penyerapannya besar juga. Hasil dari pengujian ini menunjukkan nilai sebesar 2,25% yang artinya sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 3\%$.

3. Kelekatan Agregat Kasar Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah pengujian untuk mengetahui persentase dari permukaan agregat yang terlapisi oleh lapisan aspal terhadap keseluruhan permukaan agregat. Hasil dari pengujian ini adalah sebesar 98% yang artinya sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar $\geq 95\%$.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan. Nilai keausan agregat diperoleh dari membandingkan berat bahan yang mengalami keausan pada saringan no.12 dengan berat awalnya. Hasil dari pengujian ini didapat nilai sebesar 22,08%. Nilai ini sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 40\%$.

5.1.2. Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,71	Min 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	1,41	Maks. 3	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	91,43	Min. 50	Memenuhi

Uraian terkait pengujian agregat halus diatas adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat suatu material dengan volume yang sama terhadap berat air pada suhu tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis agregat halus pada pengujian ini didapat nilai sebesar 2,71 gr/cm². Hasil ini menyatakan bahwa berat jenis agregat halus yang dipakai sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 2,5$ gr/cm².

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)

Penyerapan agregat halus terhadap air menunjukkan tingkat atau kapasitas suatu agregat untuk menyerap air melalui rongga atau pori - pori pada agregat tersebut. Hasil dari pengujian ini didapat nilai sebesar 1,41% yang artinya agregat halus dari Clereng ini sudah layak dipakai dikarenakan sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Sand Equivalent bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan suatu agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran pada agregat halus. Hasil dari pengujian ini didapat nilai sebesar 91,43% yang artinya sudah layak digunakan karena memenuhi spesifikasi yang di syaratkan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 50\%$. Nilai tersebut menandakan bahwa agregat yang akan digunakan sudah cukup bersih dan terbebas dari kotoran seperti debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mempengaruhi kelekatan aspal terhadap agregat.

5.1.3. Pengujian Karakteristik *Filler*

Filler yang dipakai pada pengujian ini adalah abu batu yang didapat dari proses pengayakan agregat yang lolos pada saringan no.200 dan serbuk cangkang telur yang didapat melalui Toko Abee Umee di Kab. Kediri, Jawa Timur. Pengujian *filler* dilakukan untuk memastikan *filler* yang akan digunakan sudah lolos dari saringan no. 200.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian *Filler*

No.	Jenis Pengujian	Jenis <i>Filler</i>	Keterangan
1	Lolos Saringan No. 200	Abu Batu	Lolos
		Serbuk Cangkang Telur	Lolos
2	Berat Jenis	Abu Batu	2,58
		Serbuk Cangkang Telur	2,73

Setelah melakukan pengujian didapat bahwa jenis *filler* abu batu dan serbuk cangkang telur sudah memenuhi spesifikasi yaitu lolos saringan no. 200 yang artinya kedua *filler* ini sudah layak digunakan.

5.1.4. Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal pertamina Penetrasi 60/70 yang sudah tersedia di Lab. Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil yang didapat dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal

No	jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	1,06	$\geq 1,0$	Memenuhi
2	Penetrasi	63	60 – 70	Memenuhi
3	Daktilitas	164	≥ 100	Memenuhi
4	Titik Nyala	310	≥ 232	Memenuhi
5	Titik bakar	340	≥ 225	Memenuhi
6	Kelarutan Terhadap <i>TCE</i>	99,19	≥ 99	Memenuhi
7	Titik Lembek	58	≥ 48	Memenuhi

Uraian pembahasan terkait pengujian diatas adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Aspal memiliki berat jenis yang merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil yang didapat dari pengujian ini mendapat nilai sebesar 1,06 yang mana artinya sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal dilakukan dengan maksud untuk mengukur tingkat kekerasan aspal dengan beban dan pada waktu tertentu. Nilai yang didapat dari pengujian sebesar 63 mm dalam suhu 25 °C, yang artinya aspal sudah memenuhi spesifikasi yang di syaratkan Bina Marga 2018 yaitu berada diantara 60-70 mm.

3. Daktilitas

Pengujian Daktilitas dilakukan untuk mengetahui tingkat keliatan atau sifat kohesi pada aspal, yang dapat berpengaruh pada fleksibilitas suatu campuran aspal sehingga mampu menahan lendutan. Hasil dari pengujian inimenunjukkan nilai sebesar 164 cm. Nilai ini sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui suhu di mana aspal mulai menyala, dan untuk mengetahui batas suhu di mana aspal masih aman untuk dipanaskan. Hasil dari pengujian ini didapat nilai sebesar 310°C yang mana sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Titik Bakar

Pengujian titik bakar aspal bertujuan untuk mengetahui suhu dimana Ketika aspal dibakar mengeluarkan percikan api selama ± 5 detik pada permukaannya sehingga dapat diketahui berapa suhu maksimpun pemanasan aspal tersebut sebelum aspal itu terbakar sepenuhnya. Hasil yang didapat pada pengujian ini adalah ada pada suhu 340°C yang mana artinya sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 225^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan Terhadap TCE (*Trichloroethylene*)

Pengujian kelarutan dalam TCE dilakukan dengan tujuan untuk menilai sejauh mana aspal dapat larut dalam *Trichloroethylene* (TCE), sehingga dapat diketahui persentase kandungan mineral lain dalam aspal. Semakin tinggi persentase kelarutannya, semakin sedikit kandungan

mineral lain yang dapat mengganggu ikatan antara aspal dan batuan. Hasil pengujian larutan *TCE* mendapat nilai sebesar 99,19% yang artinya sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 99\%$.

7. Titik Lembek

Pengujian titik lemek bertujuan untuk menentukan temperatur di mana aspal mulai menjadi lemek pada suhu tertentu. Hasil pengujian ini didapat nilai sebesar 58°C. hasil ini sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$.

5.2 Pengujian Kadar Optimum Aspal

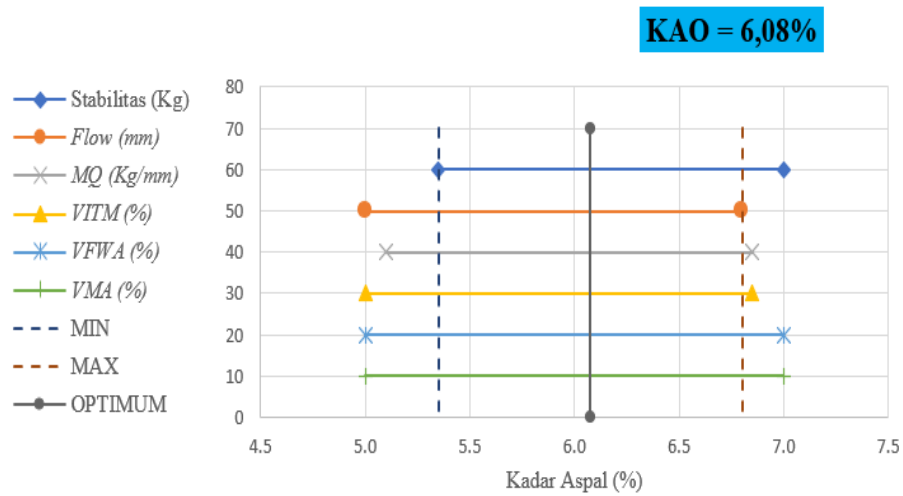
5.2.1. Hasil pengujian

Kadar aspal yang digunakan dalam mencari KAO dalam penelitian ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Nilai – nilai yang didapat dari pengujian kadar aspal Optimum antara lain stabilitas (*Stability*), kelelahan (*Flow*), Kepadatan (*Density*), *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), *Voids Filled with Asphalt* (VFWA), *Voids in Total Mix* (VITM), dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat dari Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Marshall pada Campuran AC-BC

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	695,39	2,89	240,95	4,82	68,71	15,39	2,231
5,5	858,69	2,97	287,99	4,58	71,66	16,17	2,222
6	1092,05	3,29	332,26	4,22	74,95	16,82	2,217
6,5	1056,71	3,65	290,47	3,64	78,97	17,29	2,216
7	986,76	4,24	232,84	2,74	84,33	17,49	2,225
Spesifikasi	800	2-4	>250	3-5	>65	>14	>2

Grafik Pengujian *Marshall AC-BC* dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Grafik KAO AC-BC

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 tercantum ketentuan untuk setiap parameter yaitu untuk nilai stabilitas dengan minimum 800 kg, Nilai *flow* dengan minimum 2 mm dan maksimum 4 mm, *MQ* dengan minimum 250 kg, *VITM* dengan minimum 3% dan maksimum 5%, *VFWA* minimum 65%, *VMA* dengan minimum 14%, dan *Density* minimum 2 gr/cc. Setelah melakukan analisis data untuk menentukan nilai KAO didapat nilai KAO pada penelitian ini sebesar 6,08%. Nilai ini yang akan dipakai untuk melakukan pengujian selanjutnya menggunakan serbuk cangkang telur sebagai *filler* yang mana pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*. Gradasi agregat yang akan digunakan untuk pengujian selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Gradasi Agregat pada KAO

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gram)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
1" (25 mm)	100	100	100	0	1127,04	0,00
3/4" (19 mm)	90	100	95	5	1070,69	56,35
1/2" (12,5 mm)	75	90	83	12	935,44	135,24
3/8" (9,5 mm)	66	82	75	8	845,28	90,16
No.4 (4,75 mm)	46	64	53	22	597,33	247,95
No.8 (2,36 mm)	30	49	40	13	450,82	146,52
No.16 (1,8 mm)	18	38	28	12	315,57	135,24
No.30 (0,600 mm)	12	28	20	8	225,41	90,16
No.50 (0,300 mm)	7	20	15	5	169,06	56,35
No.100 (0,150 mm)	5	13	10	5	112,70	56,35
No.200 (0,075 mm)	4	8	6	4	67,62	45,08
PAN				6	0,00	67,62
Total						1127,04

Berikut merupakan perhitungan dari tiap substitusi *filler* serbuk cangkang telur yang dibutuhkan.

Variasi kadar cangkang telur 0% = $0\% \times 67,62 \text{ gram} = 0 \text{ gram}$

Variasi kadar cangkang telur 25% = $25\% \times 67,62 \text{ gram} = 16,90 \text{ gram}$

Variasi kadar cangkang telur 50% = $50\% \times 67,62 \text{ gram} = 33,81 \text{ gram}$

Variasi kadar cangkang telur 75% = $75\% \times 67,62 \text{ gram} = 50,72 \text{ gram}$

Variasi kadar cangkang telur 100% = $100\% \times 67,62 \text{ gram} = 67,62 \text{ gram}$

5.3 Analisis Data

5.3.1. Karakteristik *Marshall*

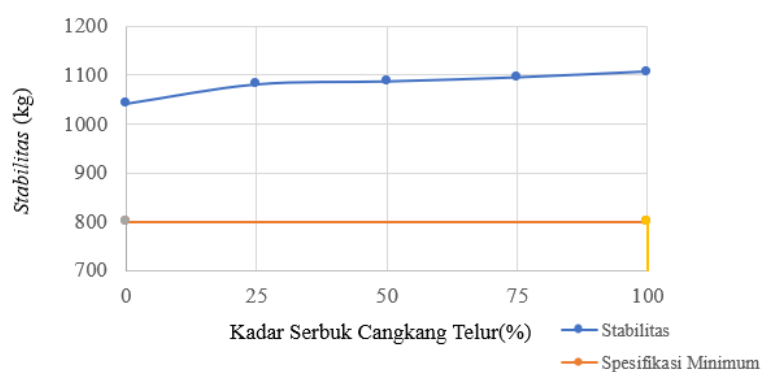
Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk cangkang telur ayam yang sudah melalui proses pengayakan yang sudah lolos saringan No. 200. Variasi serbuk cangkang telur ayam yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat total *filler*. Hasil rekapitulasi pengujian *Marshall* dalam pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Marshall AC-BC dengan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Filler

Kadar SCT (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1042,10	3,25	320,98	4,18	75,40	16,95	2,215
25	1081,22	3,34	323,73	3,88	76,82	16,68	2,222
50	1087,22	3,48	312,65	3,70	77,67	16,53	2,226
75	1095,49	3,75	292,10	3,31	79,61	16,19	2,235
100	1107,40	4,25	260,66	2,58	83,45	15,56	2,252
BINA MARGA	800	2-4	>250	3-5	>65	>14	>2

1. Stabilitas (*Stability*)

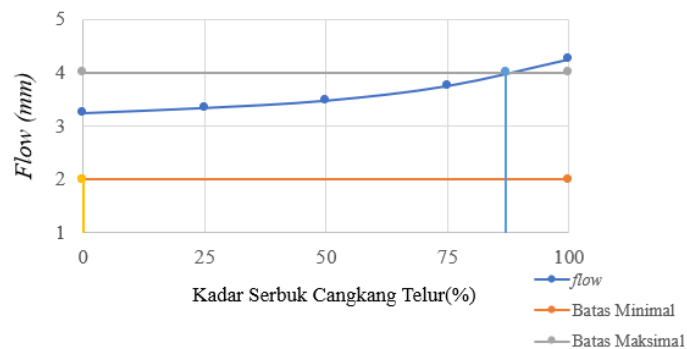
Berdasarkan hasil yang didapat setelah melakukan pengujian, nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan seiring bertambahnya substitusi penambahan *filler* serbuk cangkang telur. Nilai stabilitas dengan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 1042,10 kg, 1081,22 kg, 1087,22 kg, 1095,49 kg, dan 1107,40 kg. Grafik perbandingan nilai stabilitas pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik Nilai Stabilitas pada Campuran AC-BC

2. Kelelehan (*Flow*)

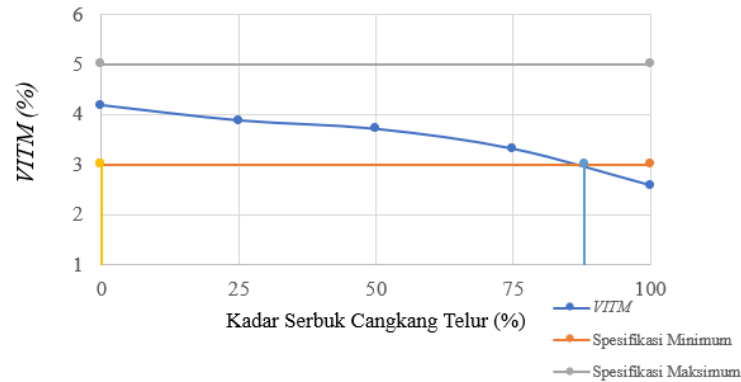
Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium didapat bahwa nilai *flow* mengalami kenaikan seiring bertambahnya substitusi *filler* serbuk cangkang telur. Nilai *flow* dengan substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 3,25 mm, 3,34 mm, 3,48 mm, 3,75 mm, dan 4,25 mm. Berdasarkan hasil tersebut didapat bahwa substitusi *filler* penambahan serbuk cangkang telur sampai persentase 75% sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yang mana mempunyai batas minimal yaitu 2 mm dan batas maksimal 4 mm. grafik nilai *flow* pada campuran AC-BC dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Grafik Nilai *Flow* pada Campuran AC-BC

3. Voids in total mix (*VITM*)

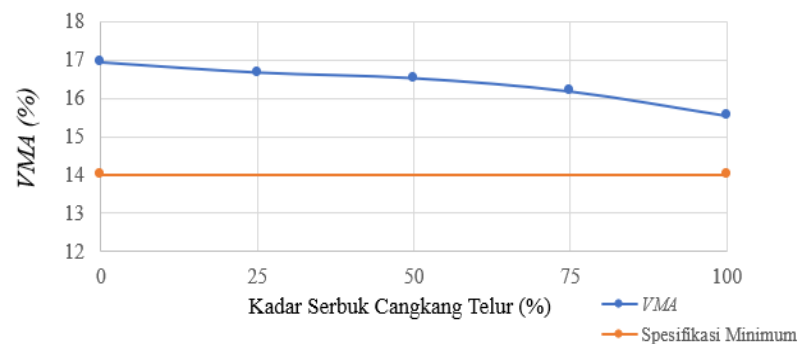
Hasil yang didapat setelah melakukan pengujian menunjukkan bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan seiring bertambahnya substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Nilai *VITM* pada campuran AC-BC dengan substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 4,18%, 3,88%, 3,70%, 3,31%, dan 2,58%. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa persentase variasi kadar substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu sampai kadar 75%, yang mana nilai *VITM* yang diizinkan untuk campuran AC-BC adalah 3% - 5%. Grafik untuk nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Grafik Nilai VITM pada Campuran AC-BC

4. Voids in the mineral aggregate (VMA)

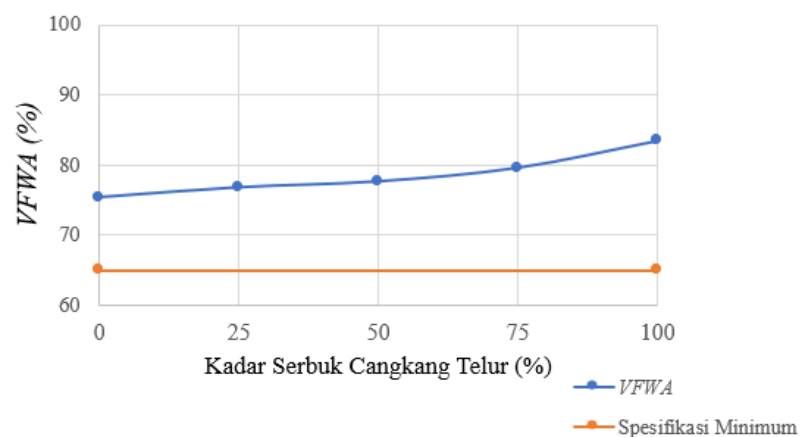
Hasil yang didapat setelah melakukan pengujian menunjukkan nilai VMA mengalami penurunan seiring bertambahnya substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Nilai VMA dengan substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 16,95%, 16,68%, 16,53%, 16,19%, dan 15,56%. Berdasarkan hasil tersebut semua kadar substitusi penambahan *filler* serbuk cangkang telur sudah memenuhi persyaratan yang diizinkan Bina Marga 2018 yaitu untuk campuran AC-BC adalah $\geq 14\%$. Grafik untuk nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Nilai VMA pada Campuran AC-BC

5. Voids filled with asphalt (VFWA)

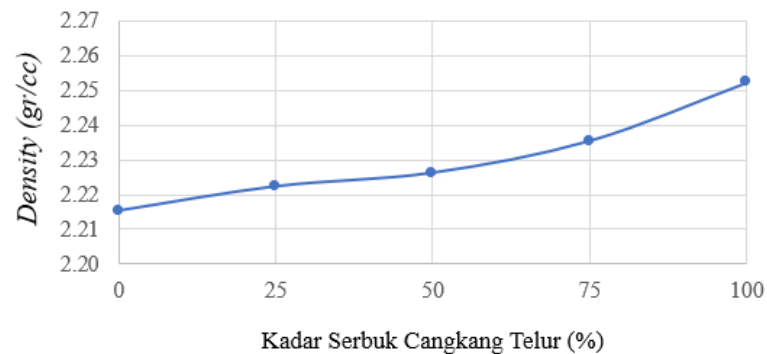
Nilai VFWA yang didapat setelah melakukan pengujian mengalami kenaikan bersamaan dengan kenaikan kadar substitusi *filler* serbuk cangkang telur yang digunakan. Hasil dari pengujian Nilai VFWA dengan substitusi *filler* serbuk cangkang telur pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 75,40%, 76,82%, 77,67%, 79,61%, dan 83,45 %. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai VFWA yang diizinkan untuk campuran AC-BC adalah $\geq 65\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai VFWA semua persentase substitusi penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018. Grafik untuk nilai VFWA dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik Nilai VFWA pada Campuran AC-BC

6. Kepadatan (*Density*)

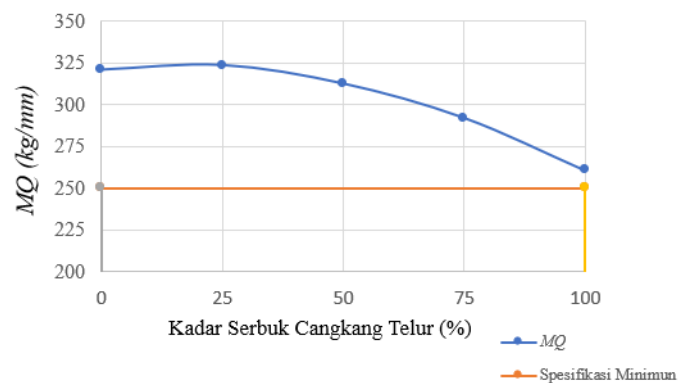
Hasil pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai kepadatan mengalami kenaikan seiring bertambahnya substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Nilai kepadatan (*Density*) dengan substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 2,215 gr/cc, 2,222 gr/cc, 2,226 gr/cc, 2,235 gr/cc, dan 2,252 gr/cc. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 untuk campuran AC-BC yaitu ≥ 2 gr/cc. Grafik untuk nilai kepadatan (*Density*) dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Grafik Nilai *Density* pada Campuran AC-BC

7. Marshall quotient (MQ)

Hasil pengujian yang sudah dilakukan didapat bahwa nilai *MQ* cenderung mengalami penurunan pada persentase kadar serbuk cangkang telur 50% sampai 100%. Adapun hasil pengujian *MQ* menggunakan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 320,98 kg/mm, 323,73 kg/mm, 312,65 kg/mm, 292,10 kg/mm, dan 260,66 kg/mm. berdasarkan hasil yang didapat menunjukkan penggunaan substitusi serbuk cangkang telur sebagai *filler* sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu ≥ 250 kg/mm. Adapun Grafik nilai *MQ* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik nilai *MQ* pada campuran AC-BC

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* dan dilakukannya analisis data, didapat variasi kadar serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* yang paling optimum berada pada kadar 50%. Hal itu dikarenakan pada kadar tersebut mempunyai nilai *MQ* dan *void* yang tidak terlalu tinggi ataupun tidak terlalu rendah, hal tersebut menandakan bahwa campuran memiliki tingkat kerapatan yang cukup baik dan tidak terlalu kaku ataupun lentur.

5.3.2. Karakteristik *Cantabro*

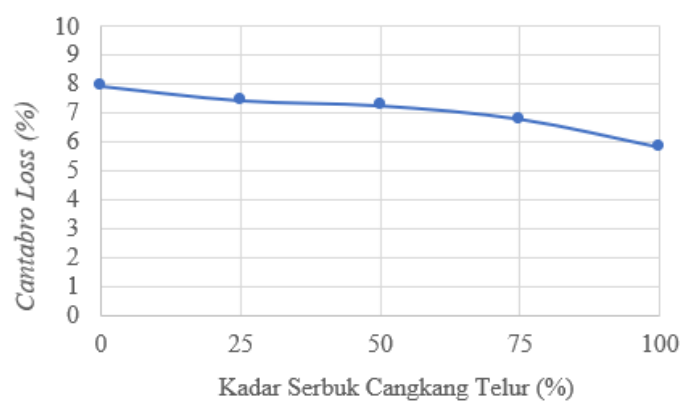
Cantabro Test bertujuan untuk mendapatkan nilai ketahanan aus suatu campuran dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil yang didapat dari pengujian ini adalah nilai kehilangan berat pada campuran yang di uji. Variasi kadar serbuk cangkang telur yang digunakan sebagai *filler* pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Rekapitulasi hasil pengujian *cantabro* dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Cantabro AC-BC* dengan Serbuk Cangkang Telur sebagai *Filler*

Kadar Serbuk Cangkang Telur (%)	Kehilangan Berat (%)
0	7,92
25	7,43
50	7,25
75	6,79
100	5,82

Berdasarkan Tabel 5.8 diatas dapat dilihat bahwa nilai *cantabro* mengalami penurunan seiring bertambahnya pertambahan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada campuran *AC-BC*. Hasil pengujian *cantabro* yang semakin menurun menandakan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan semakin meningkat, hal ini disebabkan karena campuran kehilangan beratnya semakin kecil seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*.

Hasil pengujian di Laboratorim diperoleh nilai *cantabro* dengan menggunakan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% berturut – turut adalah 7,92%, 7,43%, 7,25%, 6,79%, dan 5,82%. Berdasarkan hasil tersebut diketahui penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada campuran AC-BC sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\leq 20\%$. Grafik perbandingan nilai *cantabro* dengan penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada campuran AC-BC dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Grafik Nilai *Cantabro* pada Campuran AC-BC

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium dan melakukan analisis data nilai *cantabro*, didapat nilai optimum untuk penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada variasi 100%. Hal itu dikarenakan pada kadar tersebut mengalami kehilangan berat paling sedikit. Semakin kecil nilai keausan menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan yang baik terhadap gesekan akibat beban dari kendaraan yang melintasinya.

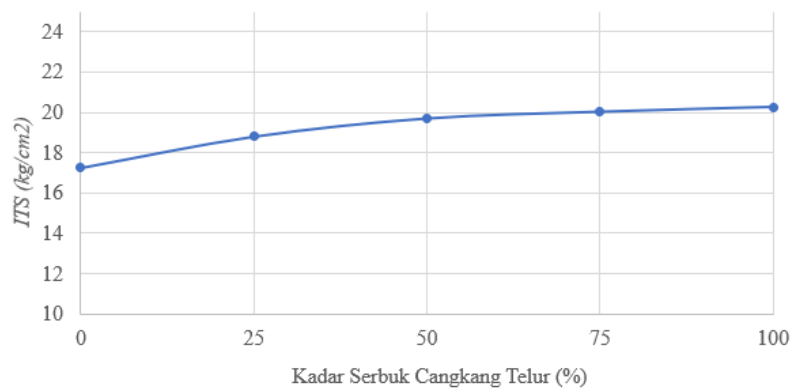
5.3.3. Karakteristik ITS

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik tidak langsung dari suatu campuran aspal karena pengaruh beban lalu lintas yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 3.9 dengan satuan kg/cm². Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran AC-BC tiap variasi kadar serbuk cangkang telur dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian ITS AC-BC dengan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Filler

Kadar Serbuk Cangkang Telur (%)	ITS (kg/cm ²)
0	17,25
25	18,80
50	19,70
75	20,03
100	20,27

Berdasarkan hasil pengujian diatas didapat bahwa nilai ITS pada campuran AC-BC meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Nilai optimum berada pada kadar serbuk cangkang telur 100% dikarenakan memiliki nilai tertinggi yaitu 20,27 kg/cm². Grafik perbandingan nilai ITS dengan penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada campuran AC-BC dapat dilihat pada gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Nilai ITS pada Campuran AC-BC

5.4 Pembahasan

5.4.1 Evaluasi Karakteristik Marshall

1. Karakteristik mekanik

Hasil pengujian *Marshall* memberikan gambaran tentang karakteristik mekanik dengan mencakup nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *marshall quotient* (MQ). Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan perkerasan jalan untuk menanggung beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi seperti gelombang, alur atau

bledding. Hasil dari pengujian *marshall* untuk mencari nilai stabilitas dimulai dari sampel benda uji menerima beban dari alat uji *marshall* sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam satuan kg. semakin tinggi nilai stabilitas benda uji maka kekuatan untuk menahan deformasi akan semakin baik begitu juga sebaliknya. Nilai *flow* menunjukkan tingkat, deformasi yang dihasilkan akibat menahan beban yang diterima, terjadi pada saat mulai pembebanan sampai menurunnya nilai stabilitas. Nilai *marshall quotient (MQ)* adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Semakin tinggi nilai *MQ* maka semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan.

Nilai stabilitas dan *flow* campuran AC-BC mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya tiap kadar serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler*. Berbeda dengan nilai stabilitas dan *flow*, pada nilai *MQ* mengalami sedikit kenaikan hanya sampai kadar 25% lalu setelahnya mengalami penurunan sampai kadar 100%. Penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* dapat disimpulkan memiliki dampak yang cukup bagus sebagai bahan alternatif pengganti *filler* abu batu. Hal ini dikarenakan nilai nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring penambahan tiap kadar serbuk cangkang telur dan sudah memenuhi syarat yang diisyaratkan Bina Marga 2018 yaitu ≥ 800 kg. jika dilihat dari nilai *flow* kadar serbuk cangkang telur yang memenuhi syarat Bina Marga 2018 yaitu hanya sampai variasi kadar 75% dikarenakan nilai *flow* yang di syaratkan Bina Marga 2018 untuk campuran AC-BC berada di antara 2 mm sampai 4 mm. untuk nilai *MQ* semua kadar sudah memenuhi syarat Bina Marga 2018 yaitu ≥ 250 kg/mm dengan nilai tertinggi berada pada variasi kadar serbuk cangkang telur 25%.

2. Karakteristik volumetrik

Karakteristik volumetrik dalam pengujian *marshall* memberikan gambaran tentang rongga yang berada di dalam suatu campuran antara lain *voids in total mix (VITM)*, *voids in the mineral aggregates (VMA)*, dan *voids filled with asphalt (VFWA)*. Nilai *VITM* memperlihatkan besarnya rongga udara yang tersisa setelah suatu campuran di padatkan. Rongga tersebut berperan sebagai lokasi

dimana agregat dapat bergeser karena beban lalu lintas atau tempat dimana aspal dapat melunak karena perubahan suhu. Semakin besar nilai *VITM* maka daya tahan suatu campuran semakin kecil karena campuran akan lebih mudah rapuh. Hal itu disebabkan karena air dan udara akan lebih mudah untuk masuk kedalam lapisan perkerasan sehingga proses oksidasi akan meningkat dan mempercepat penuaan suatu perkerasan. Tetapi jika nilai *VITM* terlalu kecil juga tidak baik karena campuran menjadi kedap air dapat mengakibatkan terjadinya *bleeding* ketika suhu lapis perkerasan meningkat. Nilai *VMA* mengindikasikan jumlah persentase ruang antara partikel-partikel agregat dalam suatu campuran, atau dapat dijelaskan sebagai persentase volume yang dapat diisi oleh aspal dan udara. Semakin tinggi nilai *VMA*, rongga pori dalam campuran menjadi lebih terbuka, yang dapat mengurangi kepadatan dan daya tahan campuran. Namun, jika nilai *VMA* terlalu rendah, campuran menjadi terlalu padat dan kemampuan untuk penyerapannya melemah. Nilai *VFWA* mengindikasikan besarnya persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran setelah dilakukan pemadatan. Ketika nilai *VFWA* meningkat, menandakan bahwa lebih banyak rongga dalam campuran terisi dengan aspal, sehingga kekedapannya terhadap air dan udara juga meningkat. Namun, jika nilai *VFWA* terlalu tinggi, dapat menyebabkan *bleeding* karena rongga dalam campuran menjadi terlalu kecil. Sebaliknya, nilai *VFWA* yang terlalu rendah dapat menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi karena kurang kedap, memungkinkan air dan udara mudah masuk ke dalam campuran.

Hasil pengujian setelah menggunakan serbuk cangkang telur sebagai *filler* pada campuran *AC-BC* berdampak baik. Hal itu bisa dilihat dari nilai *VITM* dan *VMA* yang mengalami penurunan setiap bertambahnya kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Sedangkan untuk nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *filler* serbuk cangkang telur. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan *filler* serbuk cangkang telur dapat memperkecil rongga yang ada pada campuran dan membuat campuran semakin padat. Hal itu dikarenakan *filler* serbuk cangkang telur mampu mengisi banyak rongga yang kosong pada suatu campuran.

5.4.2 Evaluasi Karakteristik *Cantabro*

Cantabro loss adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil yang didapat setelah melakukan uji *cantabro* berupa hilangnya berat benda uji. Semakin kecil kehilangan berat setelah melakukan uji *cantabro* menandakan campuran semakin baik kekuatannya. Pada pengujian ini didapat bahwa semakin banyak penggunaan kadar *filler* serbuk cangkang telur membuat campuran lebih tahan terhadap keausan karena kehilangan beratnya semakin menurun. Hasil ini menandakan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur sebagai *filler* berfungsi dengan baik sebagai pengisi rongga-rongga yang dimiliki oleh suatu campuran perkerasan. Nilai *cantabro* terendah berada pada kadar serbuk cangkang telur 100% yang menggambarkan mempunyai nilai yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *filler* abu batu 100%.

5.4.3 Evaluasi Karakteristik ITS

Indirect Tensile Strength merupakan suatu pengujian pada campuran perkerasan yang bertujuan untuk mengetahui gaya tarik tidak langsung pada suatu campuran yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Hasil dari pengujian ini adalah nilai ITS pada campuran AC-BC mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya substitusi *filler* serbuk cangkang telur. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* berdampak baik karena substitusi *filler* ini dapat mengikat agregat dengan baik pada saat pencampuran dan pemadatan, sehingga deformasi yang terjadi pada campuran AC-BC lebih kecil seiring bertambahnya kadar serbuk cangkang telur.

Rekapitulasi hasil semua pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran AC-BC dengan Serbuk Cangkang telur Sebagai Substitusi *Filler*

Parameter	Variasi Kadar Serbuk cangkang Telur (%)				
	0	25	50	75	100
Stabilitas	M	M	M	M	M
<i>Flow</i>	M	M	M	M	TM
<i>VITM</i>	M	M	M	M	TM
<i>VMA</i>	M	M	M	M	M
<i>VFWA</i>	M	M	M	M	M
<i>MQ</i>	M	M	M	M	M
<i>Density</i>	M	M	M	M	M
<i>Cantabro</i>	M	M	M	M	M
<i>ITS</i>	M	M	M	M	M

Keterangan : M = Memenuhi Spesifikasi

TM = Tidak Memenuhi Spesifikasi

5.4.4 Analisis Statistik dengan SPSS

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*, dilakukan analisis statistik menggunakan SPSS dengan metode ANOVA satu arah. Sebelum melakukan pengujian ANOVA, dilakukan terlebih dahulu uji normalitas dan homogenitas terhadap data yang akan digunakan. Pada uji normalitas, seluruh data menunjukkan nilai Sig. > α (0,05), yang berarti data berdistribusi normal. Pada uji homogenitas, nilai *Based on Median* dan *Based on Median with Adjusted df* > 0,05 menunjukkan bahwa data tersebut homogen. Hasil rekapitulasi analisis data dengan menggunakan metode ANOVA satu arah dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Statistika Terhadap Karakteristik
Marshall, Cantabro dan ITS**

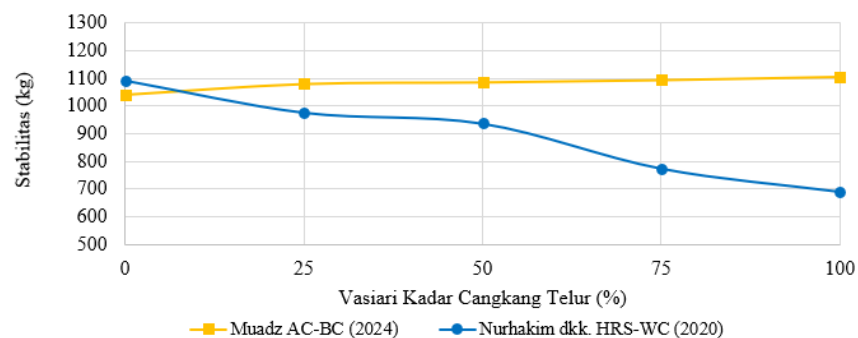
Parameter	Variabel yang Mempengaruhi	Hasil Analisis <i>P(Value)</i>	Keterangan
Stabilitas	Kadar Cangkang Telur	0,12	Tidak Signifikan
<i>Flow</i>	Kadar Cangkang Telur	<0,001	Signifikan
<i>Density</i>	Kadar Cangkang Telur	0,034	Signifikan
<i>VITM</i>	Kadar Cangkang Telur	0,034	Signifikan
<i>VMA</i>	Kadar Cangkang Telur	0,034	Signifikan
<i>VFWA</i>	Kadar Cangkang Telur	0,027	Signifikan
<i>MQ</i>	Kadar Cangkang Telur	<0,001	Signifikan
<i>Cantabro</i>	Kadar Cangkang Telur	0,151	Tidak Signifikan
<i>ITS</i>	Kadar Cangkang Telur	0,048	Signifikan

Berdasarkan hasil rekapitulasi diatas, didapat bahwa nilai stabilitas dan *cantabro* memiliki perbandingan yang tidak signifikan atau sama terhadap *PValue* = 0,05 (nilai sig , > 0,05) yang artinya penambahan substitusi *filler* serbuk cangkang telur sebagai pengganti abu batu tidak mengubah nilai stabilitas dan *cantabro*. Sedangkan untuk nilai *flow*, *density*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *MQ*, dan *ITS* memiliki perbandingan yang signifikan atau berbeda terhadap *PValue* = 0,05 (nilai Sig, <0,05) yang artinya penggunaan serbuk cangkang telur sebagai pengganti abu batu mempengaruhi nilai *flow*, *density*, *volumetrik*, *MQ*, dan *ITS*.

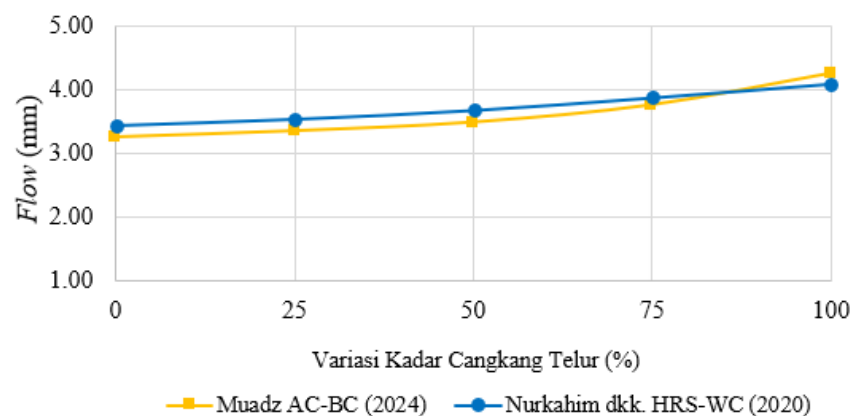
5.4.5 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Nurhakim dkk. (2020) melakukan penelitian mengenai pengaruh limbah kulit telur sebagai inovasi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat halus 0/5 pada lapisan *HRS-WC*. Variasi yang digunakan pada pengujian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Berdasarkan penelitian tersebut nilai stabilitas, *VMA*, *VFA*, dan *MQ* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar limbah kulit telur, sedangkan nilai *flow* dan *VIM* mengalami peningkatan. Kadar Aspal Optim (KAO) yang didapat pada penelitian ini adalah 6,85%.

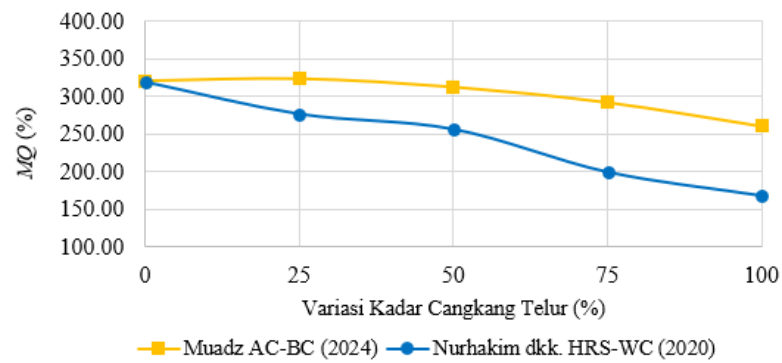
Penelitian yang dilakukan penulis menggunakan serbuk cangkang telur sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran AC-BC. Kadar aspal optimum (KAO) yang didapat sebesar 6,08% dengan variasi serbuk cangkang telur yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian yang didapat penulis yaitu nilai stabilitas, *flow*, dan *VFWA* mengalami kenaikan seiring bertambahnya jumlah kadar serbuk cangkang telur, sedangkan nilai *VITM*, *VMA*, dan *MQ* cenderung mengalami penurunan. Grafik perbandingan penelitian penulis dan penelelitian terdahulu dapat dilihat pada Gambar 5.11, Gambar 5.12, Gambar 5.13, Gambar 5.14, Gambar 5.15, dan Gambar 5.16 berikut.



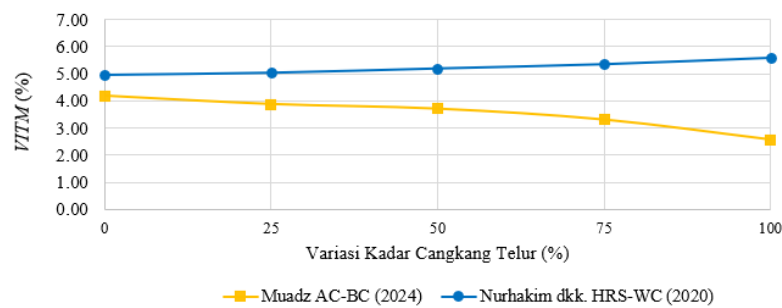
Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Penelitian Terdahulu



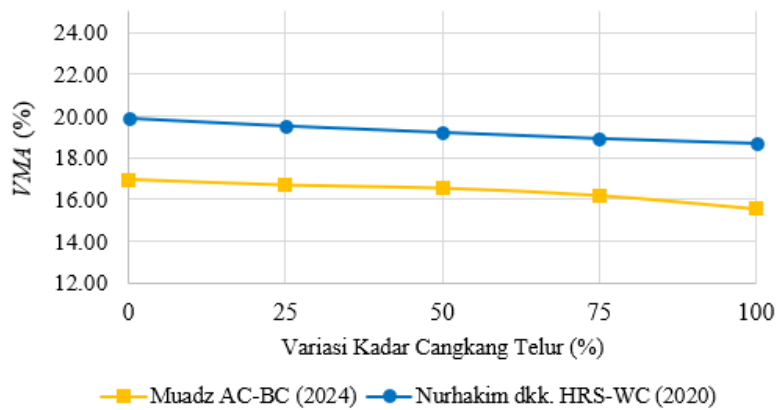
Gambar 5. 12 Grafik Perbandingan Nilai Flow dengan Penelitian Terdahulu



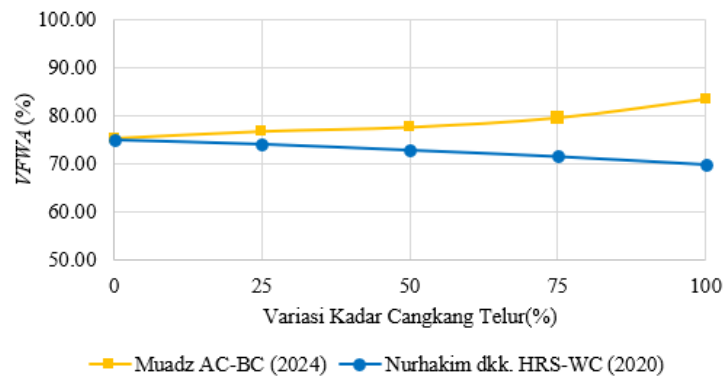
Gambar 5. 13 Grafik Perbandingan Nilai MQ dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 14 Grafik Perbandingan Nilai VITM dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 15 Grafik Perbandingan Nilai VMA dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 16 Grafik Perbandingan Nilai VFWA dengan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan perbandingan hasil penelitian penulis yang menggunakan cangkang telur sebagai substitusi *filler* pada campuran AC-BC dan penelitian terdahulu yang menggunakan cangkang telur sebagai substitusi agregat halus 0/5 pada campuran HRS-WC. Dilihat dari nilai stabilitas penggunaan cangkang telur sebagai substitusi *filler* pada campuran AC-BC lebih baik dikarenakan mengalami kenaikan, berbeda dengan campuran HRS-WC yang mengalami penurunan. Untuk nilai *flow* keduanya sama-sama mengalami kenaikan. Nilai *MQ* dan *VMA* keduanya mengalami penurunan, akan tetapi pada campuran HRS-WC nilai *MQ* dengan persentase kadar 75% dan 100% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai *VITM* pada campuran AC-BC mengalami penurunan, sedangkan pada campuran HRS-WC mengalami kenaikan. Nilai *VFWA* pada campuran AC-BC mengalami kenaikan, sedangkan pada campuran HRS-WC mengalami penurunan. Berdasarkan hasil tersebut dilihat dari karakteristik mekanik, penggunaan cangkang telur pada campuran AC-BC lebih baik dibanding HRS-WC karena nilai stabilitas yang tidak menurun dan nilai *MQ* yang memenuhi spesifikasi. Dilihat dari karakteristik *volumetric* penggunaan cangkang telur pada campuran HRS-WC mempunyai nilai yang lebih baik dibandingkan pada campuran AC-BC. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena perbedaan jenis campuran yang digunakan, sumber diperolehnya material agregat, aspal, dan cangkang telur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan karakteristik campuran aspal AC-BC dengan menggunakan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* didapat hasil bahwa campuran mengalami perubahan pada karakteristik nilai *Marshall*, *Cantabro*, dan *ITS*. Secara khusus kesimpulan dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Campuran aspal AC-BC menggunakan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada nilai stabilitas, *flow*, *VFWA*, dan *density* mengalami kenaikan sering bertambahnya kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*, kemudian nilai *MQ* mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya lalu mengalami penurunan setelah mencapai nilai optimumnya, kemudian nilai *VIM* dan *VMA* mengalami penurunan. Berdasarkan hasil uji *ANOVA* nilai stabilitas mengalami kenaikan yang tidak signifikan, sedangkan nilai *Flow*, *MQ*, *Density*, *VITM*, *VMA*, dan *VFA* mengalami kenaikan dan penurunan secara signifikan.
2. Pada pengujian *Cantabro* yang mengukur ketahanan campuran terhadap benturan didapat hasil bahwa campuran mengalami penurunan nilai *cantabro* seiring bertambahnya kadar *filler* serbuk cangkang telur dengan nilai terkecil pada variasi kadar *SCT* 100% yaitu 5,82% yang mengalami penurunan sebesar 2,1 % dari nilai tertingginya yaitu 7,92% yaitu *filler* abu batu 100%. Hal itu menunjukkan bahwa penggunaan *filler* serbuk cangkang telur membuat campuran semakin tahan terhadap benturan dibandingkan dengan *filler* abu batu 100%. Berdasarkan hasil uji *ANOVA* nilai *cantabro* mengalami penurunan dengan tidak signifikan.
3. Pada pengujian *Indirect Tensile Strength* yang mengukur kemampuan menahan gaya tarik didapat bahwa penambahan substitusi *filler* serbuk cangkang telur membuat campuran mengalami peningkatan secara signifikan yang diperoleh

dengan analisis *ANOVA* seiring bertambahnya variasi kadar serbuk cangkang telur sebagai *filler*. Hal ini menunjukkan campuran lebih awet dibandingkan dengan menggunakan *filler* abu batu 100%.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian campuran *AC-BC* dengan menggunakan serbuk cangkang telur sebagai substitusi *filler* penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan metode pengujian yang lebih lanjut seperti pengujian *Immersion Test* untuk mengetahui pengaruh campuran terhadap pengaruh suhu, air dan cuaca.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan jenis cangkang telur yang lain seperti cangkang telur bebek.
3. Perlu dilakukannya penelitian pada jenis campuran perkerasan lain menggunakan serbuk cangkang telur sebagai *filler* guna memanfaatkan limbah cangkang telur yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, K., dan Agusmaniza, R. 2021. Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi *Filler* terhadap Parameter *Marshall*. Portal: *Jurnal Teknik Sipil Volume 13 No. 2*. Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat. Aceh, Indonesia.
- Auliani, N. 2018. Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene (PP)* pada Campuran *HRS-WC* Terhadap Karakteristik *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan Ketahanan Aus. *Dspace UII*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum. Edisi 2018 (Rev. 2). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum. Edisi 2010 (Rev. 3). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2023. Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan 2023. Jakarta.
- Fitriani, S., Fathul,W, M., dan Farida, I. 2017. Penggunaan limbah cangkang telur, abu sekam, dan copper slag sebagai material tambahan pengganti semen. *Jurnal Konstruksi Volume 15 No. 1*. Sekolah Tinggi Teknologi Garut, Indonesia.
- Nurhakim, L., Wedyantadji, B., dan Nainggolan, T, H. 2020. Pengaruh Pemanfaatan Limbah Kulit Telur Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus 0/5, *Student Journal Gelagar Volume 2 No. 2*. Institut Teknologi Nasional Malang. Indonesia.
- Rumbyarso, Y, P, A., dan Ulum, R, B. 2021. Analisis Pengaruh Penggunaan Cangkang Telur Bebek Ras Petelur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton, *Jurnal Teknologika Volume 11 No. 2*. Universitas Krisnadwipayana, Bekasi, Indonesia.
- Sari, K, I. 2021. Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal, *Journal of civil engineering building and transportation Volume 5 No. 2*. Universitas Harapan, Medan, Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Panas, SNI 2441:2011. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 20016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. SNI 1969:2016. Indonesia.

- Standar Nasional Indonesia. 2016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, SNI 1970:2016. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. SNI 06-2489-1991. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. Spesifikasi Bahan Uji Pengisi untuk Campuran Beraspal. SNI 03-6723-2002. Indonesia.
- Sukirman, S., 2003. Beton Aspal Campuran Panas, Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Utami, A., Sastra, M., dan Zulkarnain. 2020. Abu Kulit Pinang Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran AC-BC. *Jurnal TEKLA Volume 2 No. 1*, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau.
- Wijayati, F. S. 201. Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus, *Dspace UII*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : AASHTO T - 228 - 68 ; ASTM D - 70 - 72

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2023

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,64	24,11
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,07	47,15
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,43	23,04
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	26,96	26,38
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	2,32	2,27
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,18	47,28
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,22	20,9
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	2,21	2,14
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,050	1,061
10	Rata-rata BJ Aspal	1,055	

Disahkan Oleh
Mangger Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusbhari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 

Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007



PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 53-74, ASTM D 36-70

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.00 WIB	
	Selesai pemanasan	135 °C	09.15 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	135 °C	09.30 WIB	
	Selesai	28 °C	11.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	11.00 WIB	
	Selesai	59 °C	11.30 WIB	

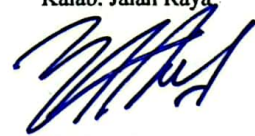
HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C				
2	10 °C	112,00	108,00		
3	15 °C	220,00	202,00		
4	20 °C	322,00	310,00		
5	25 °C	397,00	387,00		
6	30 °C	475,00	458,00		
7	35 °C	676,00	654,00		
8	40 °C	688,00	668,00		
9	45 °C	783,00	776,00		
10	50 °C	1.138,00	1.124,00		
11	55 °C			57°C	59°C
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

C. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 


Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	13.00 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	13.15 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	13.15 WIB	
	Selesai	27 °C	13.45 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	13.45 WIB	
	Selesai	340 °C	14.15 WIB	

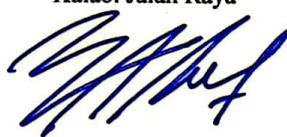
HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	310 °C	340 °C	
2	Benda uji 2	°C	°C	
3	Rata - rata	310 °C	340 °C	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 


Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

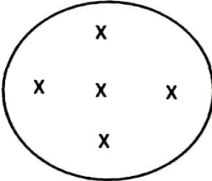
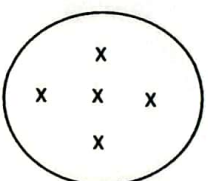
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

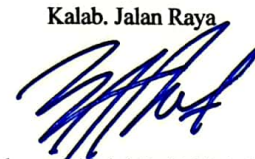
No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	10.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	60	60			
2	62	65			
3	64	63			
4	61	65			
5	66	64			
Rata2	62,6	63,4			
Rata2	63				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 

Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan		
			Waktu		Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20	WIB	27 °C
		Selesai	13.30	WIB	27 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30	WIB	27 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40	WIB	27 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45	WIB	27 °C
		Selesai	14.15	WIB	27 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15	WIB	110 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30	WIB	27 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	68,880 gr	75,190 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	70,020 gr	76,520 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,140 gr	1,330 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,600 gr	0,590 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,610 gr	0,600 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,010 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,877 %	0,752 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,123 %	99,248 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,185 %		



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2023

Peneliti

Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diperiksa tg : 2023

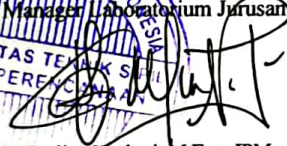
Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	164 cm	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti



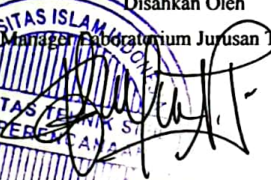
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1668,13	1652,77	1660,45
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1023,83	1022,20	1023,02
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1630,70	1617,10	1623,90
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,53	2,56	2,55
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,59	2,62	2,61
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,69	2,72	2,70
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	2,30	2,21	2,25
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,61	2,64	2,63

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 

Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	25°C	08.00 WIB	
	Selesai	150°C	08.15 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai	150°C	08.15 WIB	
	Selesai	25°C	09.45 WIB	
3	Perendaman benda uji			
	Mulai	25°C	09.45 WIB	
	Selesai	25°C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

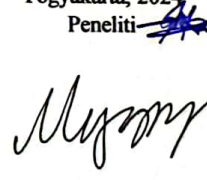
No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	98%	Memenuhi
2	Sampel 2	98%	Memenuhi
	Rata-rata	98%	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2023

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	100 x Putaran	400 x Putaran	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		3896,00	4792,00	
13	KEAUSAN = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		22,080	4,160	
14	Rata-rata Kausan (%)		13,12		



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 


Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,04	500,03	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	692,41	704,54	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1006,45	1020,05	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	493,33	492,75	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,65	2,67	2,66
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,69	2,71	2,70
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,75	2,78	2,77
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,35	1,47	1,41
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,70	2,73	2,71



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

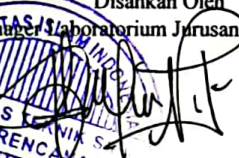
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan		Benda uji		
			1	2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama ($\pm$ 10.1 menit).	Mulai	09.25	09.30	
		Selesai	09.35	09.40	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl_2)	Mulai	09.38	09.43	
		Selesai	09.50	09.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,40	3,70	3,55
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,00	3,50	3,25
6	$\text{Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		88,24	94,59	91,41
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		11,76	5,41	8,59

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti



Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN BERAT JENIS FILLER

- 1 Jenis Material : Filler Abu Batu
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2023

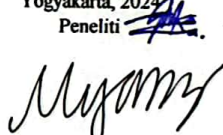
No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,01	24,52	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,87	47,05	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,86	22,53	
4	Berat Vicnometer + Filler gr	33,05	34,45	
5	Berat Filler (4-1) gr	9,040	9,930	9,49
6	Berat Vicnometer + Filler + Aquadest gr	52,250	53,280	52,77
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,200	18,830	19,02
8	Volume Filler (3-7) gr	3,660	3,700	3,68
9	Berat Jenis Filler = Berat/Vol (5/8)	2,470	2,684	2,58

Disahkan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Bertan Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti 
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

PEMERIKSAAN BERAT JENIS FILLER

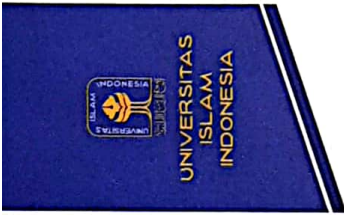
- 1 Jenis Material : Serbuk Cangkang Telur
- 2 Sumber Material : Toko Abec Umec Kab. Kediri, Jawa Timur
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,53	23,63	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,03	46,24	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,50	22,61	
4	Berat Vicnometer + Filler gr	34,23	34,82	
5	Berat Filler (4-1) gr	10,700	11,190	10,95
6	Berat Vicnometer + Filler + Aquadest gr	52,650	53,500	53,08
7	Berat Aquadest (6-4) gr	18,420	18,680	18,55
8	Volume Filler (3-7) gr	4,080	3,930	4,01
9	Berat Jenis Filler = Berat/Vol (5/8)	2,623	2,847	2,73

Dijahkan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
H. Bertram Kurniawan, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalah. Jalan Raya
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007



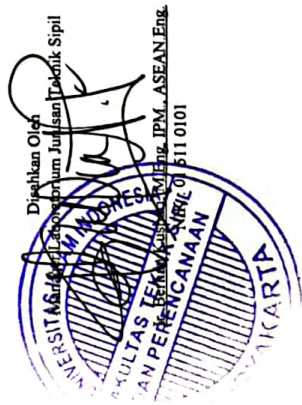
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-BC

Tanggal Pengujian : September 2023
Type Campuran : AC-BC
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPLE	Tinggi (mm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
5A	6,657	5,263	5	1182,38	1194,05	664,31	529,74	2,2320	2,3440	10,5782	84,643	4,778	15,337	68,884	4,778	48	709,959921	0,93	662,038	2,86	231,482
5B	6,727	5,263	5	1176,92	1185,24	656,24	529	2,2248	2,3440	10,5441	84,370	5,086	15,630	67,462	5,086	53	783,91408	0,88	691,151	2,73	233,169
5C	6,577	5,263	5	1181,45	1190,77	661,03	529,74	2,2302	2,3440	10,5699	84,577	4,853	15,423	68,532	4,853	52	769,123248	0,95	728,744	2,91	250,428
5,5A	6,793	5,820	5,5	1179,65	1191,78	661,41	530,37	2,2242	2,3290	11,5954	83,904	4,501	16,096	72,037	4,501	75	739,2416	0,90	695,3910	2,850	240,946
5,5B	6,813	5,820	5,5	1183,45	1196,31	663,45	532,86	2,2209	2,3290	11,5784	83,781	4,641	16,219	71,386	4,641	61	1109,31238	0,89	997,457	3,15	316,653
5,5C	6,660	5,820	5,5	1175,11	1186,43	657,54	528,89	2,2218	2,3290	11,5831	83,815	4,602	16,185	71,565	4,602	56	902,240734	0,89	806,754	2,86	282,082
6A	6,873	6,383	6	1174,21	1186,23	658,30	527,93	2,2242	2,3142	12,6494	83,459	3,892	16,541	76,472	3,892	83	828,286575	0,93	771,860	2,91	265,244
6B	6,833	6,383	6	1169,29	1181,67	653,07	528,6	2,2121	2,3142	12,5804	83,004	4,416	16,996	74,019	4,416	80	946,6132	0,89	859,6900	2,9733	287,9928
6C	6,793	6,383	6	1173,86	1186,46	656,19	530,27	2,2137	2,3142	12,5898	83,066	4,344	16,934	74,345	4,344	85	1227,63903	0,89	1092,599	3,33	328,108
6,5A	6,440	6,952	6,5	1170,58	1180,14	649,03	531,11	2,2166	2,2996	13,5793	82,263	4,158	17,737	76,558	4,158	78	1257,22069	0,90	1130,451	3,28	344,650
6,5B	6,570	6,952	6,5	1166,71	1177,87	651,54	526,33	2,2167	2,2996	13,6573	82,735	3,607	17,265	79,106	3,607	79	1222,7088	0,98	1092,0523	3,2867	332,2635
6,5C	6,667	6,952	6,5	1161,34	1170,43	646,21	524,22	2,2154	2,2996	13,6492	82,606	3,665	17,314	78,834	3,665	73	1153,68487	0,95	1127,727	3,65	308,966
7A	6,517	7,527	7	1150,83	1160,93	644,32	516,61	2,2277	2,2852	14,7807	82,700	2,519	17,300	85,438	2,519	70	1168,4737	0,93	1108,591	3,55	312,279
7B	6,213	7,527	7	1136,86	1147,61	635,93	511,68	2,2218	2,2852	14,7419	82,483	2,775	17,517	84,160	2,775	65	1079,73071	0,96	1004,824	3,74	268,670
7C	6,543	7,527	7	1171,20	1182,74	654,76	527,98	2,2183	2,2852	14,7184	82,351	2,930	17,649	83,397	2,930	69	1124,10321	0,95	1056,708	3,645	290,474
								2,2247					17,4883	84,3316	2,7414		1005,7766		986,7560	4,2400	232,4424



Mengetahui
Ket. Lab. Jalan Raya
Munad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Munad Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007



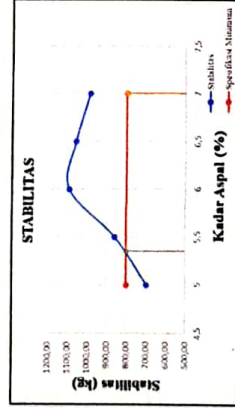
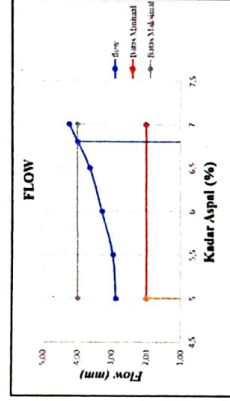
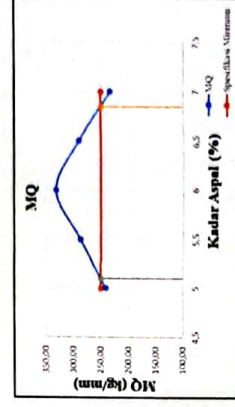
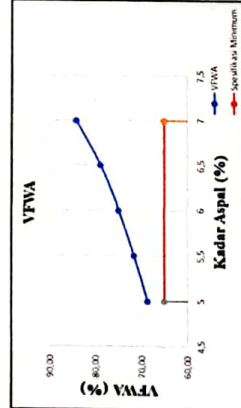
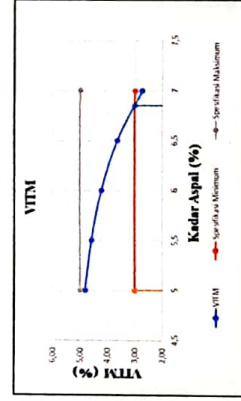
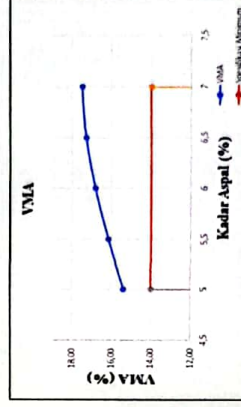
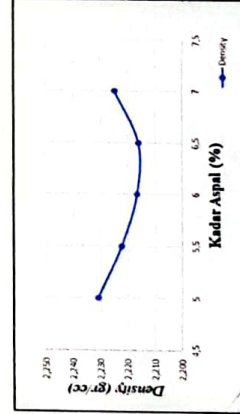
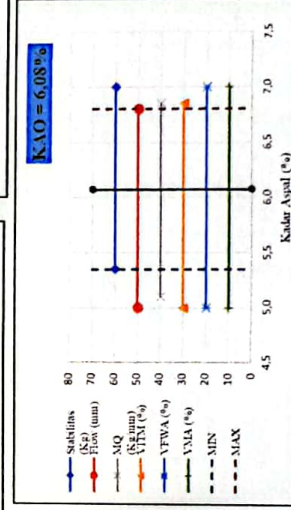
UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fsp@uii.ac.id
W. fsp.uii.ac.id

Rekapitulasi Marshall Aspal Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFVA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	695,3910	2,89	240,95	4,82	68,71	15,39	2,231
5,5	858,6900	2,97	287,99	4,58	71,66	16,17	2,222
6	1092,0523	3,29	332,26	4,22	74,95	16,82	2,217
6,5	1056,7079	3,65	290,47	3,64	78,97	17,29	2,216
7	986,7560	4,24	232,84	2,74	84,33	17,49	2,225
BINA MARGA	800	2-4	>250	3-5	>65	>14	>2



Disahkan Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Dan Perencanaan
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Ket. B. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2024
Peneliti
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 18 511 007



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-BC

Tanggal Pengujian : September 2023
Tipe Campuran : AC-BC
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPLE	Tinggi (mm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (kg/mm)
0	6.683	6.474	6.08	1185.09	1197.15	658.43	538.72	2.1998	2.3119	12.6777	82.475	4.848	17.525	72.340	4.848	75	1109.31238	0.93	1027.963	3.28	313.403
0.00	6.850	6.474	6.08	1167.72	1177.87	651.04	526.83	2.2165	2.3119	12.7738	83.100	4.126	16.900	75.585	4.126	77	1138.89404	0.89	1013.616	3.14	322.808
0.00	6.677	6.474	6.08	1177.56	1185.21	657.03	528.18	2.2295	2.3119	12.8485	83.586	3.565	16.414	78.278	3.565	79	1168.4757	0.93	1084.735	3.32	326.727
0.25	6.690	6.474	6.08	1176.40	1186.24	653.76	532.485	2.2093	2.3119	12.7321	82.829	4.439	16.9464	75.4008	4.1797	78	1153.68487	0.93	1067.159	3.45	309.321
0.25	6.660	6.474	6.08	1173.45	1182.16	657.09	525.07	2.2348	2.3119	12.8795	83.788	3.333	16.212	79.443	3.333	79	1168.4757	0.93	1088.873	3.22	338.159
0.25	6.713	6.474	6.08	1174.02	1184.45	656.28	528.17	2.2228	2.3119	12.8101	83.336	3.853	16.664	76.875	3.853	80	1183.26654	0.92	1087.619	3.36	323.696
0.50	6.787	6.474	6.08	1172.06	1183.15	653.06	530.09	2.2111	2.3119	12.7424	82.896	4.362	17.104	74.499	4.362	82	1212.8482	0.90	1092.574	3.6	303.493
0.50	6.873	6.474	6.08	1171.10	1182.08	655.89	526.19	2.2256	2.3119	12.8263	83.442	3.732	16.558	77.463	3.732	81	1198.05737	0.89	1066.271	3.46	308.171
0.50	6.797	6.474	6.08	1171.00	1181.29	659.00	522.29	2.2420	2.3119	12.9210	84.058	3.021	15.942	81.049	3.021	83	1227.63903	0.90	1102.829	3.38	326.281
0.75	6.710	6.474	6.08	1176.05	1186.97	661.41	525.56	2.2377	2.3119	12.8960	83.895	3.209	16.105	80.075	3.209	81	1198.05737	0.92	1087.2247	3.4800	312.6481
0.75	6.600	6.474	6.08	1174.08	1187.3	659.66	527.64	2.252	2.3119	12.8236	83.424	3.752	16.576	77.364	3.752	78	1153.68487	0.94	1088.069	3.62	300.572
0.75	6.627	6.474	6.08	1172.98	1181.39	658.56	522.83	2.2435	2.3119	12.9295	84.113	2.958	15.887	81.384	2.958	79	1168.4757	0.94	1096.176	3.74	293.095
1.00	6.620	6.474	6.08	1172.59	1181.64	659.36	522.28	2.2451	2.3119	12.9388	84.174	2.888	15.826	81.754	2.888	83	1227.63903	0.94	1095.486	3.753333333	292.095
1.00	6.603	6.474	6.08	1173.10	1183.13	663.84	519.29	2.2590	2.3119	13.0190	84.695	2.286	15.305	85.064	2.286	79	1168.4757	0.94	1153.213	4.22	273.273
1.00	6.630	6.474	6.08	1175.11	1186.75	665.11	521.64	2.2527	2.3119	12.9825	84.458	2.560	15.542	83.532	2.560	77	1178.89404	0.94	1101.288	4.38	251.436
1.00	6.630	6.474	6.08	1175.11	1186.75	665.11	521.64	2.2523	2.3119	12.9825	84.458	2.560	15.542	83.532	2.560	77	1178.89404	0.94	1107.4050	4.2900	260.6631



Mengetahui

Kep. B. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

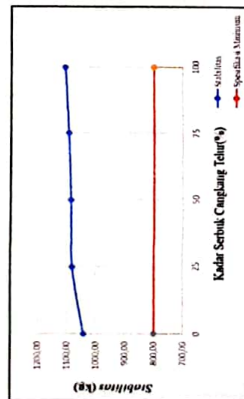
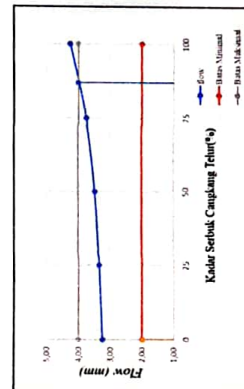
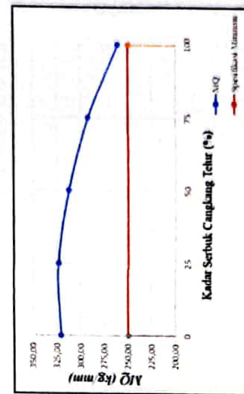
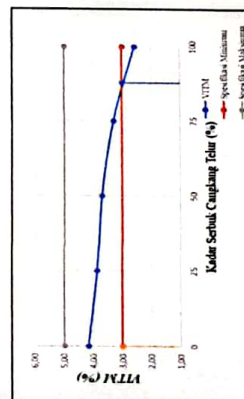
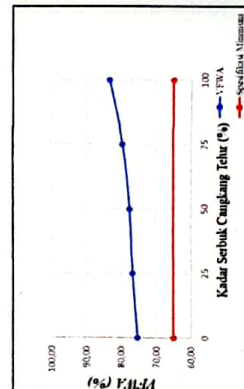
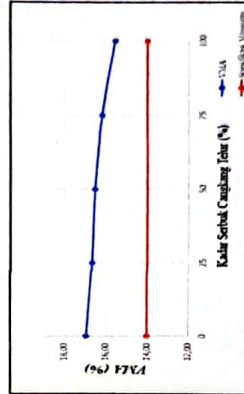
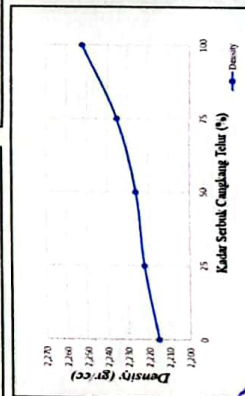
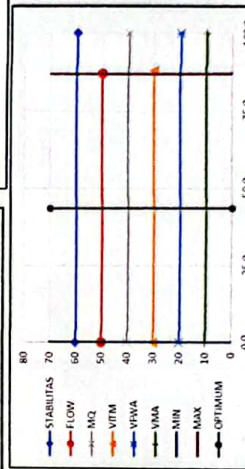
Yogyakarta, 2024

Peneliti

Muadz Rizhadiul Aisy
NIK : 18 511 007

Relapitulasi Marshall Aspal Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VTM (%)	VFVA (%)	YMA (%)	Density (gr/cc)
0	1042,1045	3,25	320,98	4,18	75,40	16,95	2,215
25	1081,2170	3,34	323,73	3,88	76,82	16,68	2,272
50	1087,2247	3,48	312,65	3,70	77,67	16,53	2,256
75	1095,4860	3,75	292,10	3,31	79,61	16,19	2,235
100	1107,4050	4,25	260,66	2,58	83,45	15,56	2,252
BINA MARGA	800	2-4	>250	3-5	>65	>14	>2



Disahkan Oleh
Dekanat
Fakultas Teknik Sipil
dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta

Mengetahui
Kalah-Ran Bayu

Yogyakarta, Juli 2023
Peneliti
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

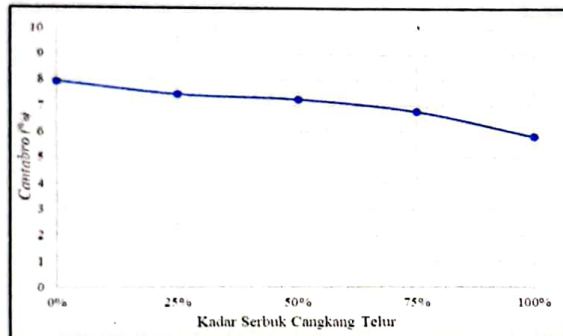
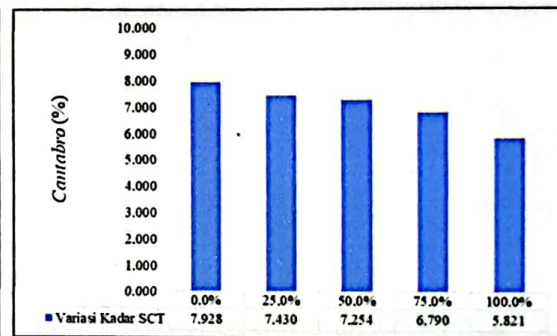
Disahkan Oleh
Dekanat
Fakultas Teknik Sipil
dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta

Mengetahui
Kalah-Ran Bayu

Yogyakarta, Juli 2023
Peneliti
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

HASIL PENGUJIAN CANTABRO

Sampel		Berat Benda Uji (gr)		Berat sebelum di abrasi	Kehilangan Berat (L)	Rata-Rata
		M1	M2		%	%
Cangkang Telur 0%	1	1179,610	1071,350	108,260	9,178	7,928
	2	1175,070	1083,940	91,130	7,755	
	3	1182,650	1101,620	81,030	6,852	
Cangkang Telur 25%	1	1182,920	1104,490	78,430	6,630	7,430
	2	1175,620	1078,720	96,900	8,242	
	3	1178,140	1090,750	87,390	7,418	
Cangkang Telur 50%	1	1169,450	1080,560	88,890	7,601	7,254
	2	1170,210	1099,140	71,070	6,073	
	3	1176,360	1081,210	95,150	8,089	
Cangkang Telur 75%	1	1174,130	1080,610	93,520	7,965	6,790
	2	1181,400	1102,540	78,860	6,675	
	3	1184,320	1116,450	67,870	5,731	
Cangkang Telur 100%	1	1170,890	1103,550	67,340	5,751	5,821
	2	1174,380	1102,620	71,760	6,110	
	3	1176,540	1110,640	65,900	5,601	



Disahkan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Muhammad Keshari M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2024
Peneliti
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007



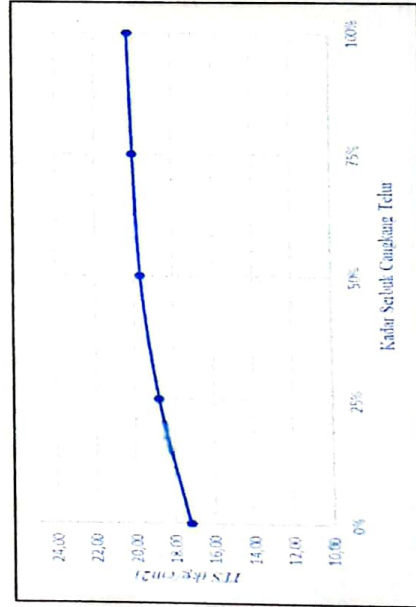
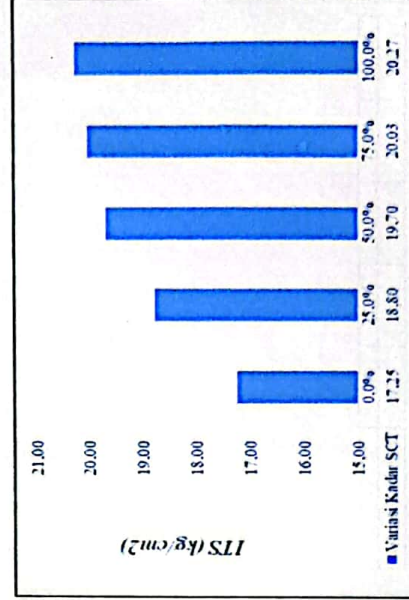
UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp@uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN ITS SCT

Sampel	Tebal Sampel (cm)			Koreksi	Diameter Sampel (cm)	Diameter Sampel (inch)	Meas	Meas x Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)	Rata-Rata
	1	2	3									
Canggang telur 0%	1	6.87	6.91	6.88	0.890	10	4	52	769.123	684.520	0.16	15.51
	2	6.56	6.61	6.45	0.954	10	4	55	813.496	776.380	0.16	18.52
	3	6.64	6.61	6.59	0.941	10	4	54	798.705	751.282	0.16	17.72
Canggang telur 25%	1	6.44	6.32	6.46	0.986	10	4	57	843.077	831.134	0.16	20.24
	2	6.76	6.70	6.73	0.915	10	4	59	872.659	798.483	0.16	18.51
	3	6.72	6.73	6.71	0.918	10	4	56	828.287	759.953	0.16	17.64
canggang telur 50%	1	6.63	6.63	6.61	0.939	10	4	60	887.450	833.094	0.16	19.62
	2	6.59	6.63	6.69	0.936	10	4	62	917.032	858.571	0.16	20.18
	3	6.67	6.64	6.65	0.933	10	4	60	887.450	828.102	0.16	19.29
canggang telur 75%	1	6.89	6.85	6.80	0.890	10	4	62	917.032	816.158	0.16	18.60
	2	6.54	6.64	6.69	0.939	10	4	65	961.404	902.518	0.16	21.26
	3	6.70	6.72	6.71	0.920	10	4	64	946.613	870.884	0.16	20.25
canggang telur 100%	1	6.70	6.70	6.68	0.924	10	4	65	961.404	888.498	0.16	20.71
	2	6.87	6.89	6.84	0.890	10	4	66	976.195	868.813	0.16	19.74
	3	6.85	6.86	6.85	0.890	10	4	68	1005.777	895.141	0.16	20.38



Disahkan Oleh
Laboratorium Jurisid Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil
Dan Perencanaan
Yogyakarta

Muhammad Khusni, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Juli 2024
Peneliti
Muadz Rihadatul Aisy
NIK : 18 511 007

Lampiran Hasil Uji Normalitas pada *SPSS*

1. Stabilitas

Tests of Normality							
	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stabilitas	0%	.313	3	.	.894	3	.367
	25%	.367	3	.	.793	3	.098
	50%	.278	3	.	.940	3	.526
	75%	.205	3	.	.993	3	.839
	100%	.223	3	.	.985	3	.765

a. Lilliefors Significance Correction

2. Flow

Tests of Normality							
	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Flow	0%	.304	3	.	.907	3	.407
	25%	.224	3	.	.984	3	.762
	50%	.238	3	.	.976	3	.702
	75%	.204	3	.	.993	3	.843
	100%	.267	3	.	.951	3	.576

a. Lilliefors Significance Correction

3. VITM

Tests of Normality							
	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VITM	0%	.200	3	.	.995	3	.862
	25%	.182	3	.	.999	3	.935
	50%	.183	3	.	.999	3	.934
	75%	.261	3	.	.957	3	.601
	100%	.191	3	.	.997	3	.900

a. Lilliefors Significance Correction

4. *VFWA*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VFWA	0%	.191	3	.	.997	3	.898
	25%	.177	3	.	1.000	3	.967
	50%	.192	3	.	.997	3	.895
	75%	.257	3	.	.961	3	.621
	100%	.186	3	.	.998	3	.918

a. Lilliefors Significance Correction

5. *VMA*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VMA	0%	.200	3	.	.995	3	.862
	25%	.182	3	.	.999	3	.935
	50%	.183	3	.	.999	3	.934
	75%	.261	3	.	.957	3	.601
	100%	.191	3	.	.997	3	.900

a. Lilliefors Significance Correction

6. *MQ*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MQ	0%	.272	3	.	.947	3	.554
	25%	.175	3	.	1.000	3	.997
	50%	.312	3	.	.896	3	.374
	75%	.211	3	.	.991	3	.816
	100%	.284	3	.	.933	3	.499

a. Lilliefors Significance Correction

7. *Density*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Density	0%	.200	3	.	.995	3	.862
	25%	.182	3	.	.999	3	.935
	50%	.183	3	.	.999	3	.934
	75%	.261	3	.	.957	3	.601
	100%	.191	3	.	.997	3	.900

a. Lilliefors Significance Correction

8. *Cantabro*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Cantabro	0%	.225	3	.	.984	3	.756
	25%	.177	3	.	1.000	3	.974
	50%	.296	3	.	.918	3	.447
	75%	.208	3	.	.992	3	.830
	100%	.272	3	.	.947	3	.555

a. Lilliefors Significance Correction

9. *ITS*

Tests of Normality

	Kadar filler SCT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ITS	0%	.285	3	.	.932	3	.496
	25%	.252	3	.	.965	3	.640
	50%	.234	3	.	.978	3	.717
	75%	.230	3	.	.981	3	.736
	100%	.250	3	.	.967	3	.652

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran Hasil Uji Homogenitas Pada SPSS

1. Stabilitas

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Stabilitas	Based on Mean	2.617	4	10	.099
	Based on Median	.857	4	10	.522
	Based on Median and with adjusted df	.857	4	5.543	.542
	Based on trimmed mean	2.452	4	10	.114

2. Flow

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Flow	Based on Mean	.092	4	10	.983
	Based on Median	.074	4	10	.988
	Based on Median and with adjusted df	.074	4	9.799	.988
	Based on trimmed mean	.091	4	10	.983

3. VITM

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VITM	Based on Mean	.406	4	10	.800
	Based on Median	.335	4	10	.848
	Based on Median and with adjusted df	.335	4	8.349	.847
	Based on trimmed mean	.402	4	10	.803

4. *VFWA*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VFWA	Based on Mean	.305	4	10	.868
	Based on Median	.254	4	10	.901
	Based on Median and with adjusted df	.254	4	8.614	.900
	Based on trimmed mean	.302	4	10	.870

5. *VMA*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VMA	Based on Mean	.406	4	10	.800
	Based on Median	.335	4	10	.848
	Based on Median and with adjusted df	.335	4	8.349	.847
	Based on trimmed mean	.402	4	10	.803

6. *MQ*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
MQ	Based on Mean	.398	4	10	.806
	Based on Median	.203	4	10	.931
	Based on Median and with adjusted df	.203	4	8.264	.930
	Based on trimmed mean	.383	4	10	.816

7. *Density*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Density	Based on Mean	.406	4	10	.800
	Based on Median	.335	4	10	.848
	Based on Median and with adjusted df	.335	4	8.349	.847
	Based on trimmed mean	.402	4	10	.803

8. *Cantabro*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Cantabro	Based on Mean	1.009	4	10	.447
	Based on Median	.502	4	10	.736
	Based on Median and with adjusted df	.502	4	7.496	.736
	Based on trimmed mean	.972	4	10	.464

9. *ITS*

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ITS	Based on Mean	1.711	4	10	.224
	Based on Median	.595	4	10	.674
	Based on Median and with adjusted df	.595	4	6.298	.679
	Based on trimmed mean	1.611	4	10	.246

Lampiran Hasil Uji *ANOVA One Way*

1. Stabilitas

ANOVA

Stabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7333.459	4	1833.365	2.397	.120
Within Groups	7649.373	10	764.937		
Total	14982.832	14			

2. Flow

ANOVA

Flow

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.950	4	.488	35.639	<.001
Within Groups	.137	10	.014		
Total	2.087	14			

3. VITM

ANOVA

VITM

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.586	4	1.147	4.023	.034
Within Groups	2.850	10	.285		
Total	7.436	14			

4. *VFWA*

ANOVA

VFWA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	116.396	4	29.099	4.336	.027
Within Groups	67.117	10	6.712		
Total	183.513	14			

5. *VMA*

ANOVA

VMA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.446	4	.861	4.023	.034
Within Groups	2.141	10	.214		
Total	5.587	14			

6. *MQ*

ANOVA

MQ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8257.340	4	2064.335	16.954	<.001
Within Groups	1217.574	10	121.757		
Total	9474.914	14			

7. *Density*

ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.002	4	.001	4.023	.034
Within Groups	.002	10	.000		
Total	.004	14			

8. *Cantabro*

ANOVA

Cantabro

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.606	4	1.901	2.133	.151
Within Groups	8.914	10	.891		
Total	16.520	14			

9. *ITS*

ANOVA

ITS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.211	4	4.553	3.540	.048
Within Groups	12.862	10	1.286		
Total	31.073	14			