



**PERBANDINGAN NILAI STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN
AC-BC MENGGUNAKAN ALAT UJI DIGITAL DAN ANALOG
DENGAN VARIASI KADAR ASPAL**

SKRIPSI

Oleh

ZAKARIA

NIM. 111910301010

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2015



**PERBANDINGAN NILAI STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN
AC-BC MENGGUNAKAN ALAT UJI DIGITAL DAN ANALOG
DENGAN VARIASI KADAR ASPAL**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

ZAKARIA

NIM. 111910301010

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2015

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT., Tuhan Maha Pencipta yang selalu memberi ridha, anugerah dan karunia serta ketetapan iman dan islam kepadaku;
2. Muhammad SAW., Rasul junjunganku yang telah memberikan suritauladan menuju zaman islamiah;
3. Ayahanda Yayah dan Ibunda Puji Astuti tercinta, yang selalu mencurahkan kasih sayang-cinta kasih, doa, motivasi dan harapan serta dukungan moral maupun materi sampai sekarang ini;
4. Kakakku Aprilia, adekku Hadi, dan Farida yang selalu memberi semangat dalam hidupku.

MOTTO

Hidup miskin bukanlah hal yang memalukan, yang memalukan adalah hidup miskin dan tidak mempunyai semangat yang tinggi.

Memegang posisi yang rendah tidaklah mengerikan, yang mengerikan adalah memegang posisi rendah dan tidak meningkatkan kemampuan diri.

Menjadi tua tidaklah menyedihkan, yang menyedihkan adalah menjadi tua dan menyia-nyiakan hidup.

Mati bukanlah hal yang menyedihkan, yang menyedihkan adalah mati tanpa dikenal oleh orang lain.

(Peribahasa China)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Zakaria

NIM : 111910301010

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: ” Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran AC-BC Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi .

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Mei 2015

Yang Menyatakan,

Zakaria

NIM 111910301010

SKRIPSI

**PERBANDINGAN NILAI STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN
AC-BC MENGGUNAKAN ALAT UJI DIGITAL DAN ANALOG
DENGAN VARIASI KADAR ASPAL**

Oleh
Zakaria
NIM. 101910301010

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Sonya Sulistyono, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Ririn Endah B., ST., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran AC-BC Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal” telah diuji dan disahkan pada :

hari :
tanggal :
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Akhmad Hasanuddin, ST., MT
NIP: 19710327 199803 1 003

Sonya Sulistyono, ST., MT
NIP: 19740111 199903 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ririn Endah B, ST., MT
NIP: 19720528 199802 2 001

.Jojok Widodo S., ST., M.T
NIP:19720527 200003 1 001

Mengesahkan

Fakultas Teknik
Universitas Jember
Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP. 19610414 198902 1001

Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran AC-BC Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal (The comparison values of stability and flow ac-bc mixture by using digital test device and analog device with asphalt variation)

Zakaria

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Alat uji Marshall digunakan untuk mengetahui (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dan *MQ* dari lapis perkerasan AC-BC. Alat pengujian Marshall berupa analog dan digital. Alat uji analog dengan pembacaan data secara manual sangat bergantung pada ketrampilan operator. Sedangkan alat uji digital menggunakan sistem komputer sehingga menghasilkan data maksimum dengan operator minimum. Penelitian dilaksanakan berdasarkan SNI 06-2489-1991 pada campuran AC-BC dengan varian kadar aspal. Berdasarkan analisa perbedaan tiga rata-rata menunjukkan bahwa, tidak terdapat perbedaan secara signifikan dari hasil pengujian menggunakan alat uji Marshall analog pengamatan langsung, perekaman video dan digital. Hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata sebagai berikut : alat uji analog pengamatan langsung: stabilitas (kg) = 1490,49; *Flow* (mm) = 4,48; *MQ* (kg/mm) = 335,55. Alat uji analog pengamatan perekaman video: stabilitas (kg) = 1482,91; *Flow* (mm) = 4,44; *MQ* (kg/mm) = 336,48. untuk alat uji digital menghasilkan stabilitas (kg) = 1508,36; *Flow* (mm) = 4,42; *MQ* (kg/mm) = 342,93.

kunci: AC-BC, Karakteristik Marshall, Alat Uji Analog, Alat Uji Digital.

Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran AC-BC Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal (The comparison values of stability and flow ac-bc mixture by using the digital and analogue test-equipment with asphalt variation)

Zakaria

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRAK

Marshall test-equipment used to determine the (stability) of the melting plastic (flow) and MQ of pavement AC-BC. It can be an analog and an digital test-equipment. Analog test-equipment reading the data manually is very dependent on the operator skills. While the digital test equipment using a computer system produces maximum data with minimum operator. The research is conducted based on a mixture SNI 06-2489-1991 AC-BC with a variant of asphalt content. Based on the three different analysis evenly show that there are no different significantly from the test result by using the direct observation-analogue, the visualization analogue, and the digital Marshall test-equipment. The presumption of the test result of Marshall characteristics are found out as: the direct observation-analogue gets the stability (kg) = 1490.49; Flow (mm) = 4.48; MQ (kg / mm) = 335.55. The visualization analogue gets the stability (kg) = 1482.91; Flow (mm) = 4.44; MQ (kg / mm) = 336.48. The digital test-equipment gets the stability (kg) 1508.36; Flow (mm) = 4.42; MQ (kg / mm) = 342.93.

Key Words: Mixture of AC-BC, Marshall Characteristics, analog and digital Marshall Test equipment

RINGKASAN

Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran Ac-Bc Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal; Zakaria, 111910301010; 2015: 60 Halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Beton aspal adalah salah satu jenis lapis perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur sampai homogen. Beton aspal harus memiliki sifat atau karakteristik campuran antara lain stabilitas, kelelahan, keawetan, kelenturan, kekesatan, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan. Untuk mendapatkan ketujuh nilai atau sifat campuran beton aspal tersebut maka perlu dilakukan sebuah pengujian Marshall.

Pada umumnya pengujian Marshall yang dilakukan di laboratorium-laboratorium masih menggunakan alat uji analog, dimana dalam pengoperasian dan analisis datanya masih menggunakan kecermatan dan ketelitian manusia. Pada penelitian ini akan mengevaluasi hasil pengujian Marshall dengan menggunakan alat uji analog (dengan uji analog pengamatan langsung dan bantuan perekaman video) dan alat uji digital. Alat uji digital merupakan alat pengujian Marshall yang terhubung dengan perangkat komputer, dimana untuk mendapatkan dan menganalisis hasil pengujiannya menggunakan perangkat lunak yang terpasang di sistem komputer yang dihubungkan dengan alat.

Penelitian dilaksanakan pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*. Lapisan ini dikenal sebagai lapis pengikat atau lapis pondasi pada perkerasan jalan dan berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Campuran *AC-BC* ini tersusun atas agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal, aspal yang di gunakan untuk penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70. Dari pencampuran beton aspal di dapatkan kadar aspal ideal kemudian dari kadar aspal tersebut akan dibuat benda uji dengan variasi $\pm 1,5$ % dari kadar aspal

ideal dengan interval masing – masing 0,5%. Kemudian akan di uji menggunakan uji analog dan uji digital.

Nilai yang diperoleh dari perhitungan volumetrik dan pengujian Marshall kemudian dianalisa perbedaan tiga rata-rata dan pendugaan parameternya menggunakan uji Anova dengan taraf kesalahan sebesar 5%. Hasil pengujian statistik pada campuran AC-BC dengan aspal penetrasi 60/70 dengan varian kadar aspal menunjukkan bahwa, nilai f_{tabel} adalah 3,89 dengan nilai f_{hitung} pada stabilitas sebesar 0,08, $flow$ sebesar 0,07, MQ sebesar 0,06. Karena nilai f_{hitung} lebih kecil dari f_{tabel} , jadi dapat dikatakan tidak ada perbedaan secara signifikan pada hasil pengujian Marshall menggunakan alat uji Marshall analog (pengamatan langsung dan pengamatan perekaman video) dan alat uji digital.

Untuk pendugaan hasil pengujian pada setiap karakteristik Marshall didapatkan nilai sebagai berikut : untuk alat uji analog menghasilkan stabilitas (kg) = 1119,91–1861,07; $Flow$ (mm) = 3,66–5,29; MQ (kg/mm) = 198,09–473,00. Untuk alat uji analog pengamatan video menghasilkan stabilitas (kg) = 1140,85–1824,97; $Flow$ (mm) = 3,57–5,31; MQ (kg/mm) = 201,48–471,49. Dan untuk alat uji digital menghasilkan stabilitas (kg) = 1227,57–1789,15; $Flow$ (mm) = 3,54–5,31; MQ (kg/mm) = 235,39–450,46.

SUMMARY

The comparison values of stability and flow ac-bc mixture by using digital test device and analog device with asphalt variation; Zakaria, 111910301010; 2015: Page 73; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Asphalt concrete is one type of pavement that consists of a mixture of aggregates and asphalt, with or without additives mixed until homogeneous. Asphalt concrete must have the properties or other characteristics of the mixture between stability, flow, durability, flexibility, roughness, waterproof, and ease of implementation. To get the seventh value or the nature of the asphalt concrete mix is necessary to do a test Marshall.

In general, Marshall test performed in the laboratory-masi laboratory using analog test equipment, which in the operation and data analysis are still using human precision and accuracy. This research will evaluate the Marshall test results using analog test equipment (with analog test direct observation and video recording support) and the digital test equipment. Digital test tool is a tool that Marshall testing device is connected to a computer, where to get and analyze the test results using software that is installed on the computer system which is connected to the appliance.

The experiment was conducted in a mixture of Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC). This layer is known as a binder layer or layers of foundation on the pavement and serve to receive the traffic load and pass it to the layer below it. Mix AC-BC is composed of coarse aggregate, fine aggregate, filler and bitumen, asphalt that is used for research use penetration bitumen 60/70. Of concrete mixing asphalt binder content get the ideal then of the bitumen content will be made specimen with a variation of + 1.5% from the ideal bitumen content at intervals each - each 0.5%. Then will be tested using test analog and digital test.

Values obtained from volumetric calculations and testing Marshall then analyzed differences in the average three and estimation parameters using ANOVA test with a standard error of 5%. Statistical tests on the mixture of AC-BC with the penetration bitumen 60/70 with variant indicates that the bitumen content, the value of f table is 3.89 with the value f count on the stability of 0.08, flow of 0.07, 0.06 MQ , Because the count value f smaller than f table, so it can be said there is no significant difference in the results of testing using test equipment Marshall Marshall analog (direct observation and surveillance video recording) and digital test equipment.

To estimate the results of testing on each characteristic Marshall obtained the following value: for analog test equipment to produce stability (kg) = 1119.91 to 1861.07; Flow (mm) = 3.66 to 5.29; MQ (kg / mm) = 198.09 to 473.00 .. For test equipment analog video surveillance stability (kg) = 1140.85 to 1824.97; Flow (mm) = 3.57 to 5.31; MQ (kg / mm) = 201.48 to 471.49. And to digital test equipment to produce stability (kg) = 1227.57 to 1789.15; Flow (mm) = 3.54 to 5.31; MQ (kg / mm) = 235.39 to 450.46.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran *AC-BC* Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog Dengan Variasi Kadar Aspal”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Sonya Sulistyono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, Ririn Endah B., ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Anggota, Jajok Widodo S., ST., M.T. dan Ahmad Hasanudin, ST., MT. selaku Dosen Penguji Skripsi;
4. Bapak/Ibu Yayah sekeluarga yang telah memberikan dorongan, semangat dan doa demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Mas Taufik yang telah membantu mengoprasikan alat uji Digital;
6. Rekan kerjaku Keluarga Laboratorium Transportasi yang telah membantu mendapatkan data (Vivi, Faizal, Fuat, Riski Sha, Sabiq, Nurul dan Adik Angkatan 2012);
7. Teman-teman Asisten Laboratorium Transportasi;
8. Teman-teman kosan PB Sudirman VIII no. 11 terimakasih kalian semua telah bersedia menemani dan menghiburku;
9. Teman-teman satu angkatan Teknik Sipil 2011 yang senasib dan seperjuangan, terimakasih atas kerjasama dan kekompakannya selama ini;

10. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Jember, 28 Mei 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
PRAKATA	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xxiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Lapis Aspal Beton	5
2.2 Jenis Lapisan Aspal Beton	5
2.3 Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan.....	6
2.4 Agregat	8
2.4.1 Agregat Kasar.....	9
2.4.2 Agregat Halus.....	10
2.4.3 <i>Filler</i>	10
2.5 Aspal.....	12
2.5.1 Fungsi Aspal	12
2.5.2 Pemeriksaan Aspal.....	12
2.6 Pengujian Marshall.....	14
2.7 Alat Pengujian Marshall	15
2.8 Rancangan Agregat Campuran	16
2.9 Kadar Aspal Rencana	16
2.9.1 Asphalt Institute	17
2.9.2 Spesifikasi Depkimpraswil 2002	17
2.10 Perhitungan Volumetrik dan Marshall.....	17
2.11 Analisis Data	21
2.11.1 Pengujian Perbedaan Dua Rata-rata	20
2.11.2 Pendugaan Parameter	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Metode Penelitian.....	22
3.2 Lokasi Penelitian	22
3.3 Bahan Penelitian	22
3.4 Peralatan Penelitian.....	22
3.5 Prosedur Pengujian.....	24
3.5.1 Pengujian Aspal	24
3.5.2 Pengujian Agregat Kasar dan Halus	24

3.5.3	Pengujian Marshall	25
3.6	Perencanaan Campuran Metode Marshall	25
3.7	Pengujian Marshall.....	27
3.8	Uji Pendahuluan.....	28
3.9	Hipotesa.....	28
3.10	Analisa Data.....	28
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1	Uji Pendahuluan.....	34
4.1.1.	Pengujian Agregat Kasar.....	34
4.1.2.	Pengujian Agregat Halus.....	35
4.1.3.	Pengujian Filler	36
4.1.4.	Pengujian Aspal	37
4.1.5.	Perencanaan Campuran	38
4.1.6.	Menentukan Komposisi Aspal Terhadap Campuran	39
4.2	Karakteristik Volumetrik.....	40
4.3	Perbandingan Hasil Karakteristik Volumetrik Benda Uji Alat Uji Analog dan Digital	41
4.4	Pengujian Marshall dengan Alat Uji Analog	45
4.5	Pengujian Marshall dengan Alat Digital.....	47
4.6	Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan alat uji Analog dan alat uji Digital.....	49
4.7	Analisa Data.....	52
4.7.1	Analisis Perbedaan Dua Rata-rata.....	53
4.7.2	Pendugaan Parameter	56
BAB 5.	PENUTUP.....	60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Gradasi Agregat Campuran Aspal.....	6
2.2 Persyaratan Campuran Lapis Beton Aspal	8
2.3 Ketentuan Agregat Kasar.....	9
2.4 Ketentuan Agregat Halus.....	10
2.5 Pengujian dan Persyaratan Agregat Dan <i>Filler</i>	11
2.6 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70	13
4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Kasar.....	34
4.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	35
4.3 Hasil Pengujian Filler	36
4.4 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70	37
4.5 Hasil Analisa Saringan	38
4.6 Hasil Karakteristik volumetri Benda uji.....	40
4.7 Hasil Pengujian Marshall Dengan Alat Uji Analog pengamatan langsung.....	45
4.8 Hasil Pengujian Marshall Dengan Alat Uji Analog bantuan visual	46
4.9 Hasil Pengujian Marshall Dengan Alat Full Digital.....	48
4.10 Hasil Running <i>SPSS</i> Untuk Stabilitas.....	61
4.11 Pengujian Perbedaan Tiga Rata-rata.....	62
4.12 Analisa Pendugaan Hasil Pengujian	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Lapis Perkerasan	5
2.2 Alat Uji Analog	15
2.3 Alat Uji Digital	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	32
4.1 Grafik Analisa Saringan	39
4.2 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Density</i>	41
4.3 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VMA</i>	42
4.4 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VIM</i>	43
4.5 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VFA</i>	44
4.6 Hasil Pengujian Stabilitas dan <i>Flow</i> Alat Uji Digital.....	48
4.7 Penggunaan Alat Uji Analog pengamatan langsung, Uji Analog pengamatan visual, dan Alat Uji Digital Terhadap <i>Stabilitas</i>	50
4.8 Penggunaan Alat Uji Analog pengamatan langsung, Uji Analog pengamatan visual dan Alat Uji Digital Terhadap <i>Flow</i>	51
4.9 Penggunaan Alat Uji Analog pengamatan langsung, Uji Analog pengamatan visual dan Alat Uji Digital Terhadap <i>MQ</i>	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Pengujian Agregat	
A.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (FF).....	61
A.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (FA).....	61
A.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (MA)	61
A.4 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (CA).....	62
A.5 Pengujian <i>Filler</i>	62
A.6 Pengujian Abrasi	62
A.7 Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70.....	62
A.8 Pengujian Kehilangan Berat Aspal Pen 60/70.....	63
A.9 Pengujian Penetrasi Aspal Pen 60/70.....	63
A.10 Pengujian Daktilitas Aspal Pen 60/70.....	63
B. Perencanaan Campuran AC-BC	
B.1 Proporsi Agregat Campuran AC-BC.....	64
B.3 Penentuan Kadar Aspal Rencana.....	64
C. Perhitungan Karakteristik Marshall	
C.1 Perhitungan Volumetrik dan Pengujian Marshall Analog 1.....	65
C.2 Perhitungan Volumetrik dan Pengujian Marshall Analog 2.....	65
C.2 Perhitungan Volumetrik dan Pengujian Marshall Digital.....	65
D. Analisa Data	
D.1 Pengujian Perbedaan Tiga Rata-rata.....	66
D.2 Pendugaan Parameter.....	66
E. Output Hasil Pengujian	
E.1 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk VIM.....	67
E.2 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk VMA.....	68
E.3 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk VFA.....	69

E.4 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk Stabilitas.....	70
E.5 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk <i>Flow</i>	71
E.6 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk MQ.....	72
E.7 Hasil <i>Output</i> Exel Untuk <i>Density</i>	73
E.8 Hasil <i>Output</i> Pengujian Marshall dengan Alat Uji Digital 1.....	74
E.9 Hasil <i>Output</i> Pengujian Marshall dengan Alat Uji Digital 2.....	75
E.11 Hasil <i>Output</i> Pengujian Marshall dengan Alat Uji Digital 3.....	76
E.12 Hasil <i>Output</i> Pengujian Marshall dengan Alat Uji Digital 4.....	77
E.24 Tabel F.....	78
E.25 Sertifikat Kalibrasi Alat Uji Marshall Analog.....	79
F. Foto Kegiatan	

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

VIM	: <i>Void In the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran)
VFA/VFB	: <i>Void Filled with Asphalt</i> (Persen Rongga terisi Aspal)
VMA	: <i>Void In Mineral Aggregate</i>
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
Gsb	: Berat Jenis <i>Bulk</i> total agregat dalam gr/cc
Gsa	: Berat Jenis <i>Apparent</i> dari total agregat
Gmm	: Berat Jenis Maksimum Teoritis dari campuran padat tanpa rongga udara
Gse	: Berat Jenis Efektif dari total agregat
Pen	: Penetrasi
P_1, P_2, P_3, P_n	: Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$Gsb_1, Gsb_2, Gsb_3, Gsb_n$: Berat Jenis <i>Bulk</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
Pb	: Kadar aspal dari total berat campuran
Gb	: Berat Jenis dari aspal
Ps	: Berat Jenis <i>Bulk</i> dari campuran
Pmm	: Persentase total agregat



Cm	: Centimeter
mm	: Milimeter
%	: Persen
D	: Dry
°C	: Derajat Celcius
AASHTO	: <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing Materials</i>
AC	: <i>Asphalt Concrete</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
KAO	: Kadar Aspal Optimum
MF	: <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
MS	: <i>Stabilitas Marshall</i>
MQ	: <i>Marshall Quotient</i>
Msi	: <i>Stabilitas Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
AC-BC	: <i>Asphalt Concrete Binder Coarse</i>

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi yang digunakan untuk mobilitas kegiatan pokok masyarakat dan menentukan dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat. Seiring dengan peningkatan mobilitas masyarakat yang semakin tinggi, maka diperlukan peningkatan kualitas konstruksi jalan agar dapat menahan beban maksimum lalu lintas yang berada diatas permukaan jalan. Sebagai salah satu jenis konstruksi lapis perkerasan jalan, laston yang dikenal dengan nama *AC-BC (Asphalt Concrete – Binder Course)* dan *AC-WC (Asphalt Concrete- Wear Course)* berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya.

Untuk dapat mengetahui ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal beton lapis pengikat (Laston) atau *AC-BC* perlu dilakukan suatu pengujian Marshall (*Marshall test*). Sehingga dari pengujian Marshall tersebut didapatkan nilai karakteristik volumetrik yaitu *Density*, VMA, VIM, VFA, dan sifat-sifat mekanik dari campuran yaitu Stabilitas, *Flow*, dan Hasil bagi Marshall (MQ). Alat uji yang dapat digunakan untuk pengujian Marshall dapat berupa alat uji Marshall digital dan analog.

Dari penelitian *AC-BC* sebelumnya dengan KAO 6,75 yang di lakukan Aditama (2014), dan penelitian *AC-WC* yang di lakukan Zulfikar (2014), Hasil pengujian keduanya (*AC-BC* dan *AC-WC*) menunjukkan tidak berbeda signifikan, namun pengujian sebelumnya memiliki kekurangan karena hanya menggunakan 1 (satu) varian kadar aspal sehingga tidak dapat mengetahui hasilnya akan sama atau tidak jika kadar aspal pada titik terendah atau pada saat kadar aspal tertinggi.

Untuk pengujian kali ini akan menggunakan beberapa varian kadar aspal supaya dipengujian kali ini mendapatkan nilai karakteristik volumetrik *Density*, VMA, VIM, VFA, dan sifat-sifat mekanik dari campuran Stabilitas, *Flow*, dan Hasil bagi Marshall (MQ) lebih banyak, sehingga data dari setiap varian kadar aspal akan dibandingkan nilai karakteristik volumetrik dan sifat-sifat mekanik dari masing-masing varian kadar aspal untuk mengetahui tren atau perilaku dari setiap varian kadar aspal yang digunakan mulai dari terendah hingga tertinggi.

Untuk pengujian menggunakan alat pengujian Marshall digital (VJT cs-MARS) untuk pembacaan sepenuhnya hanya menggunakan alat dan software yang ada dikomputer, sedangkan untuk pembacaan alat uji Marshall analog (DBA BTE-500) dilakukan dengan 2 cara yaitu pembacaan dengan bantuan perekaman video dan pembacaan secara langsung. Untuk pembacaan perekaman video bisa dilakukan pembacaan secara berulang-ulang sedangkan untuk pembacaan penglihatan langsung sepenuhnya tergantung dari skill teknisi yang melakukan pembacaan sehingga dampak yang mungkin terjadi adalah adanya kesalahan-kesalahan yang diakibatkan faktor kelalaian, kelelahan maupun kondisi psikologis teknisi.

Sehingga dapat mempengaruhi tingkat kecepatan, akurasi dan ketepatan data yang dihasilkan sehingga penggunaan alat uji analog dan alat uji digital dalam pengujian Marshall akan memberikan kecepatan dan ketepatan data sesuai kemampuannya. Untuk itu evaluasi karakteristik Marshall menggunakan alat uji Marshall analog dan digital perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah evaluasi terhadap karakteristik Marshall dengan menggunakan alat uji digital dan analog pada campuran aspal panas *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)*. Detail permasalahan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah hasil pengujian karakteristik Marshall yang di uji dengan alat uji Marshall analog (pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital pada campuran aspal panas *AC-BC* berbeda signifikan atau tidak?
2. Berapa nilai pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall dengan menggunakan alat uji Marshall analog (pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital pada campuran aspal panas *AC-BC*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang di atas maka mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Membandingkan nilai rata-rata volumetrik dan karakteristik hasil pengujian Marshall pada setiap campuran kadar aspal *AC-BC*. menggunakan alat uji digital (VJT cs-MARS) dan analog (DBA BTE-500).
2. Menganalisa nilai pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall yang di uji dengan alat uji Marshall digital dan analog pada campuran aspal panas *AC-BC*.

1.4 Manfaat Penelitian

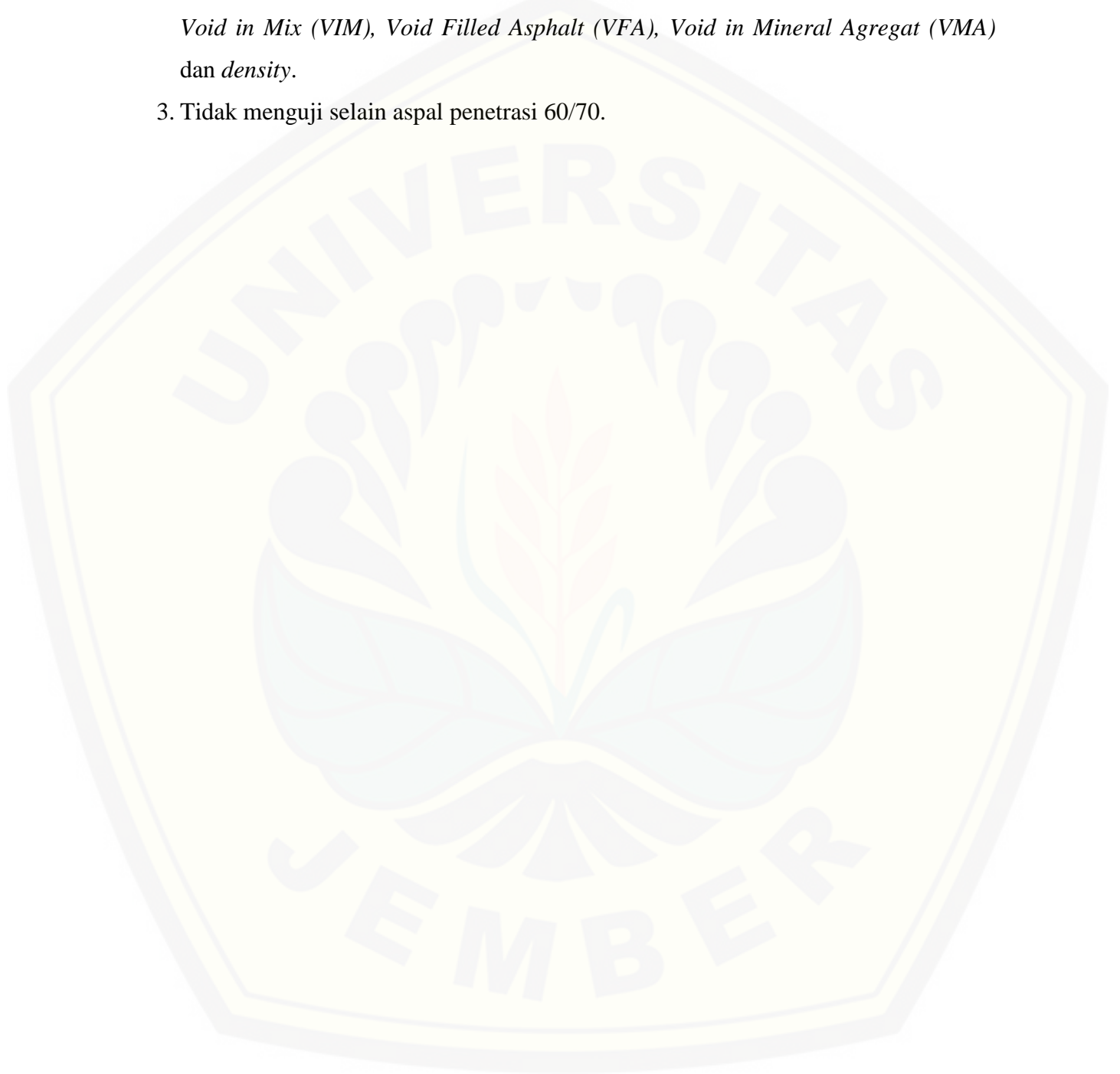
Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pengertian dan menambah wawasan mengenai karakteristik Marshall dari campuran aspal panas *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* yang diuji dengan alat uji digital (VJT cs-MARS) dan analog (DBA BTE-500).

Volumetrik dan karakteristik Marshall yang ditinjau antara lain: *density*, *void in mineral agregat (VMA)*, *void in the mix (VIM)*, *void filled with asphalt (VFA)*, *stabilitas*, *flow*, dan *Marshall Quotient (MQ)*.

1.5 Batasan Masalah

Supaya tidak terjadi perluasan dalam pembahasan, maka diberikan batasan – batasan secara teknis sebagai berikut :

1. Tidak melakukan penelitian selain campuran aspal panas AC-BC.
2. Tidak menghitung selain stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient (MQ)*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled Asphalt (VFA)*, *Void in Mineral Agregat (VMA)* dan *density*.
3. Tidak menguji selain aspal penetrasi 60/70.

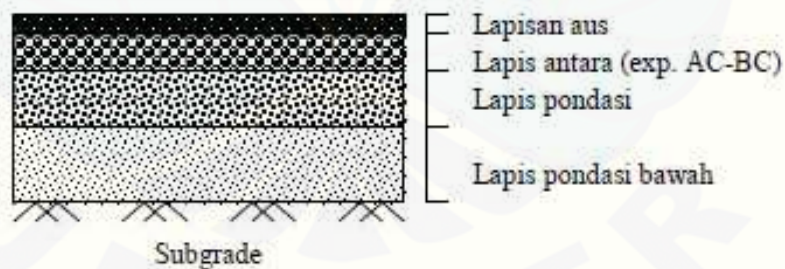


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Beton aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Adapun susunan lapis konstruksi perkerasan lentur terdiri dari (Sukirman, 2003) :

1. Lapis permukaan (*surface course*)
2. Lapis pondasi atas (*base course*)
3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)



Gambar 2.1 Lapis Perkerasan

2.2 Jenis Lapisan Aspal Beton

Jenis lapisan aspal beton campuran panas, terbagi menjadi tiga yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dengan tebal minimum AC-WC adalah 4 cm. Lapisan ini

adalah lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya.

2. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan nama *AC-BC (Asphalt Concrete – Binder Course)* dengan tebal minimum *AC-BC* adalah 5 cm. Lapisan ini untuk membentuk lapis pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan. Spesifikasi gradasi untuk lapisan *AC-BC* ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gradasi agregat untuk campuran aspal

No	Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos
	ASTM	(mm)	AC - BC
1	1 1/2"	37,5	100
2	1"	25	100
3	3/4"	19	90 - 100
4	1/2"	12,5	Maks. 90
5	3/8"	9,5	
6	No. 4	4,75	
7	No. 8	1,36	23 - 49
8	No. 16	1,18	
9	No. 30	0,6	
10	No. 200	0,075	8-Apr
11	Daerah Larangan		
12	No. 4	4,75	
13	No. 8	1,36	34,6
14	No. 16	1,18	22,3 - 28,3
15	No. 30	0,6	16,7 - 20,7
16	No. 50	0,3	13,7

Sumber : Pedoman Teknik Bina Marga, 1999

3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama *AC-Base (Asphalt Concrete-Base)* dengan tebal minimum *AC-Base* adalah 6 cm. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca tetapi memerlukan stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

2.3 Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan

Sebagai salah satu jenis konstruksi lapis perkerasan, campuran beton aspal AC-BC yang merupakan campuran antara agregat, aspal dan abu batu sebagai material pengisi yang dicampur pada suhu yang panas, haruslah memiliki karakteristik (Sukirman, 2003) :

1. Stabilitas, lapis perkerasan jalan harus memiliki kemampuan menerima beban lalu-lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap, seperti alur ataupun *bleeding*. Stabilitas lapis perkerasan haruslah seimbang dengan besarnya beban lalu lintas yang menggunakan jalan tersebut.
2. Durabilitas, lapis perkerasan jalan harus tahan terhadap keausan yang diakibatkan oleh pengaruh cuaca, adanya air, perubahan suhu ataupun keausan karena adanya gesekan antara permukaan lapis perkerasan dengan roda kendaraan.
3. Fleksibilitas, lapis perkerasan jalan harus bersifat lentur dalam menerima beban, dalam arti perkerasan dapat menerima beban dan mengikuti deformasi akibat adanya pembebanan tanpa berakibat retak atau perubahan volume.
4. Kekesatan, lapis perkerasan jalan harus memiliki permukaan yang tidak licin, sehingga kendaraan tidak mudah selip terutama diwaktu basah.
5. Ketahanan leleh, campuran lapis perkerasan jalan diharapkan memiliki ketahanan terhadap pembebanan berulang-ulang tanpa mengalami alur atau retak.
6. Kemudahan dalam pelaksanaan, suatu campuran lapis perkerasan haruslah mudah untuk dicampur, dihampar dan dipadatkan, sehingga kualitas campuran dapat dipertahankan mulai saat dicampur hingga dihamparkan di lapangan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada memilih jenis beton aspal dengan

stabilitas tinggi. Untuk persyaratan campuran lapis aspal beton ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan Campuran Lapis Beton Aspal

No	Sifat-sifat Campuran	Laston	
			BC
1	Jumlah tumbukan per bidang		75
2	Rongga dalam campuran (%)	min	3,5
3		max	5,5
4	Rongga dalam agregat (VMA) (%)	min	15
5	Rongga terisi aspal (%)	min	63
6	Stabilitas Marshall (kg)	min	800
7		max	-
8	Pelelehan (mm)	min	3
9	Marshall Quotient (kg/mm)		250
10	Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman	min	80
11	selama 24 jam, 60°C pada VIM + 7 %		
12	Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan	min	2,5
13	Membal (refusal)		

Sumber : Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal Dep. PU. Edisi 2007

2.4 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, ataumineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat sendiri dapat dikatakan sebagai kerangka dari konstruksi perkerasan jalan karena agregat akan memikul beban kendaraan yang melintas diatas konstruksi jalan tersebut. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 1999). Agregat sendiri terbagi menjadi tiga yaitu agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Ada dua tugas pokok yang

harus dipenuhi oleh suatu campuran perkerasan jalan yaitu (Puslitbang Prasarana transportasi, 2002) :

1. Kemampuan memikul beban (struktural):
 - a. Tahan terhadap perubahan akibat pembebanan
 - b. Tahan terhadap gesekan
 - c. Mendistribusikan beban kepada lapisan di bawahnya
2. Kemampuan terhadap keausan (non struktural)
 - a. Karena adanya beban lalu-lintas
 - b. Karena adanya pelapukan
 - c. Karena adanya erosi

2.4.1 Jenis-jenis Agregat

Agregat secara umum dibedakan menurut ukurannya. Paling tidak ada jenis ukuran agregat yaitu (Atkins, H. N., PE, 1997):

1. Agregat kasar yaitu agregat yang tertahan saringan ukuran No.8. Agregat ini berukuran lebih besar dari 2,36 mm.
2. Agregat halus yaitu agregat yang berukuran antara 2,36 mm (lolos saringan No.8) dan 75 μ m (tertahan saringan No.200).
3. Agregat sangat halus adalah agregat yang lebih kecil dari 75 μ m atau lolos saringan No.200. Agregat sangat halus biasanya berfungsi sebagai filler.

2.4.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar yaitu tertahan pada saringan #8 (2,36 mm), fungsi agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Memberikan stabilitas campuran dari kondisi saling mengunci dari masing – masing agregat kasar dan dari tahanan gesek terhadap suatu aksi perpindahan.
2. Stabilitas ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar (kubus dan kasar). Untuk persyaratan spesifikasi agregat kasar ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

No	Pengujian	Standart	Nilai
1	Berat jenis dan penyerapan air	AASHTO T-85-81	-
2	Berat jenis SSD	AASHTO T-85-81	-
3	Berat jenis apparent	AASHTO T-85-81	-
4	Penyerapan air	SNI 1969-1989-F	Maks 3%
5	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks 40%
6	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991-F	Min 95%
7	Indeks kepipihan	ASTM D-4791	Maks 25%
8	Indeks kelonjongan	ASTM D-4791	Maks 10%
9	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4242-1996	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Umum, Direktorat Jendral Bina Marga

2.4.2 Agregat Halus

Fraksi agregat halus yaitu lolos saringan #8 dan tertahan #200, fungsi agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar dan juga untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
2. Semakin kasar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitas campuran dan menambah kekasaran permukaan.
3. Agregat halus pada #8 sampai dengan #30 penting dalam memberikan kekasaran yang baik untuk kendaraan pada permukaan aspal.
4. Pada *Gap Graded*, agregat halus pada #8 sampai dengan #30 dikurangi agar diperoleh rongga udara yang memadai untuk jumlah aspal tertentu, sehingga permukaan *Gap Graded* cenderung halus.
5. Agregat halus pada #30 sampai dengan #200 penting untuk menaikkan kadar aspal, akibatnya campuran akan lebih awet.
6. Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting agar diperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan. Untuk persyaratan spesifikasi agregat halus ditunjukkan dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

No	Karakteristik	Metode	Syarat
1	Berat jenis penyerapan air	AASHTO T-85-81	-
2	Berat jenis SSD	AASHTO T-85-81	-
3	Berat jenis apparent	AASHTO T-85-81	-
4	Penyerapan air	SNI 1969-1989-F	Maks 3%
5	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4428-1997	Maks 3%

Sumber : Spesifikasi Umum, Direktorat Jendral Bina Marga

2.4.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no. 200 (0,074 mm) bisa berupa kapur, debu batu, atau bahan lain, dan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1 %). Dalam penelitian *filler* yang digunakan adalah abu batu seperti yang dijelaskan di bawah ini.

Mineral *filler* abu batu merupakan hasil samping produksi pemecah batu stone crusher yang lolos saringan no. 200. *Filler* abu batu pada umumnya yang paling sering digunakan pada perkerasan jalan raya.

Kualitas abu batu sangat tergantung dari kualitas bahannya, bahan abu batu khususnya batu kali untuk idealnya bahan abu batu yang dipakai adalah hasil dari batuan yang keras dan kuat. Untuk persyaratan spesifikasi agregat dan *filler* ditunjukkan dalam tabel 2.5.

Tabel 2.5 Pengujian serta Persyaratan Agregat dan *Filler*

No	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat Kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990	$\geq 2,5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-
5	Keausan/ <i>Los Angeles Abrattion Test</i>	SNI 03-1969-1990	$\leq 40 \%$
6	Kepekaan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1990	$\geq 95 \%$
7	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %

Agregat Halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3 \%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990	$\geq 2,5 \text{ gr/cc}$
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-
5	<i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4428-1997	$\geq 50 \%$
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

Sumber : Spesifikasi Umum, Direktorat Jendral Bina Marga

2.5 Aspal

Aspal adalah zat perekat (*comentitious*) berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh dari alam ataupun sebagai hasil produksi. Aspal juga didefinisikan sebagai material perekat dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal merupakan material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat *termoplastis*. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. (Sukirman, 2003).

2.5.1. Fungsi Aspal

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Untuk dapat memenuhi kedua fungsi aspal tersebut dengan baik, maka aspal haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik, serta pada saat dilaksanakan mempunyai tingkat kekentalan tertentu.

Terdapat bermacam – macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal

dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

2.5.2. Pemeriksaan Aspal

Pemeriksaan aspal terdiri dari :

1. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi di dapat dari uji penetrasi dari alat *penetration test* pada suhu 25° C dengan beban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak 5 kali.

2. Pemeriksaan Kehilangan Berat

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163 °C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur dengan menggunakan aspal, untuk itu dipersyaratkan kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula.

3. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus pada suhu 25 °C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Besarnya daktilitas aspal penetrasi 60/70 disyaratkan minimal 100 cm.

4. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cm³. Untuk persyaratan spesifikasi aspal pen 60/70 ditunjukkan dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen. 60/70

No	Sifat-sifat	Metoda	Pen. 60/70		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi (25°C, 100gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	SNI 06-2434-1991	48	58	°C
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	SNI 06-2433-1991	200	0	°C
4	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	SNI 06-2440-1991	-	0,8	% berat
5	Kelarutan (CCL4)	ASTM-D2042	99	-	% berat
6	Daktilitas (25°C, 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	cm
7	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	gr/cm ³

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.6 Pengujian Marshall

Konsep dasar dari metoda Marshall dalam campuran aspal dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian *The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan intensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, selanjutnya meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian Marshall dan pada akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran pengujiannya, kemudian distandarisasikan didalam *American Society for Testing and Material* 1989 (ASTM d-1559).

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

1. Penentuan berat volume benda uji.
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan, adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari aspal beton padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan *marshall quotient*, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan.
5. Perhitungan berbagai jenis volume berpori dalam beton aspal padat (*VIM*, *VMA*, dan *VFA*).

6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal

Dari keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal, terlihat hanya nilai stabilitas dan kelelahan yang ditentukan oleh alat Marshall, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan. Walaupun demikian, secara umum telah dikenali bahwa pengujian Marshall meliputi keenam pengujian tersebut. (Sukirman, 2003).

2.7 Alat Pengujian Marshall

Alat Marshall merupakan alat penguji benda uji untuk menentukan nilai stabilitas dan *flow*. Alat tekan ini dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN atau setara 5000 lbf untuk menguji stabilitas dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci atau setara 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau setara 6,35 cm. (Sukirman, 2003).

Alat uji yang digunakan untuk pengujian Marshall ada dua macam yaitu alat uji analog dan alat uji digital. Alat uji analog merupakan alat pengujian marshall yang menggunakan keterampilan dan kecermatan manusia untuk mengamati, mengoperasikan dan menganalisa hasil datanya. Sedangkan alat uji digital menggunakan perangkat lunak dalam sebuah sistem komputer sehingga untuk menginput, mengontrol, melaksanakan, mengolah dan menghasilkan datanya menggunakan sistem komputer yang dihubungkan dengan alat tersebut.



Gambar 2.1. Alat Uji Analog



Gambar 2.2. Alat Uji Digital

Parameter lain yang penting dalam metode marshall adalah *VMA* (*void in mineral agregat*), *VIM* (*void in the mix*), *VFA* (*void filled with asphalt*) dan *MQ* (*Marshall Quotient*) serta sifat durabilitas campuran.

2.8 Rancangan Agregat Campuran

Untuk mencari komposisi agregat terhadap campuran setelah dilakukan analisa saringan dan didapatkan data, maka dapat dilakukan metode analitis untuk mencari komposisi agregat dengan rumus (Sukirman, 2003):

$$P = aA + bB + cC \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

- P : persen lolos saringan dengan bukaan d mm yang diinginkan, diperoleh dari spesifikasi campuran.
 - A : persen lolos saringan fraksi agregat A untuk bukaan d mm.
 - B : persen lolos saringan fraksi agregat B untuk bukaan d mm.
 - C : persen lolos saringan fraksi agregat C untuk bukaan d mm.
 - a : proporsi dari fraksi agregat A.
 - b : proporsi dari fraksi agregat B.
 - c : proporsi dari fraksi agregat C.
- (a + b + c) = 1 atau 100 %

2.9 Kadar Aspal Rencana

Menurut Sukirman (2003), kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, serta dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Untuk rancangan campuran di laboratorium digunakan kadar aspal tengah yang dapat ditentukan dengan beberapa rumus, yaitu :

1. Dari Asphalt Institute ^(MS-2)

$$P = 0,035a + 0,045b + Kc + F \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

P : kadar aspal tengah/ ideal.

a : persen agregat tertahan saringan No.8.

b : persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan No.200.

c : persen agregat lolos No.200.

K : 0,15 untuk 11 – 15 % lolos saringan No.200.

: 0,18 untuk 6 – 10 % lolos saringan No.200.

: 0,20 untuk ≤ 5 % lolos saringan No.200.

F : 0 – 2 %, berdasarkan nilai absorpsi dari agregat.

: 0,7 % jika tak ada data

2. Dari spesifikasi Depkimpraswil 2002

$$P = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% filler) + K \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

P : kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran.

CA : persen agregat tertahan saringan No.8.

FA : persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan No.200.

Filler : persen agregat minimal 75 % lolos No.200.

K : konstanta, 0,5 – 1,0 untuk laston 2,0 – 3,0 untuk lataston.

Catatan:

1. Kadar aspal optimum perkiraan yang diperoleh dibulatkan mendekati angka 0,5 % yang terdekat. Misal dari perhitungan didapat 5,3 %, dibulatkan menjadi 5,5 %, atau bila didapat 5,7 %, dibulatkan menjadi 5,5 %.
2. Setelah diketahui nilai aspal ideal maka nilai ideal tambahkan sampai 3 kali dengan interval 0,5 % dan di kurangi 2 kali dengan interval 0,5 %.

2.10 Perhitungan Volumetrik dan Marshall

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut (Sukirman, 2003):

- a. Berat Jenis Bulk dari Total Agregat :

$$G_s = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb4}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

- b. Berat Jenis Aparent dari Total Agregat :

$$G_s = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{mb1}} + \frac{P_2}{G_{mb2}} + \frac{P_3}{G_{mb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{mb4}}} \dots\dots\dots (2.5)$$

- c. Berat Jenis Efektif dan Total Agregat :

$$G_s = \frac{P_{mm} + P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.6)$$

- d. Berat Jenis Teoritik Maksimum dari Campuran (*Compacted Mixture*) :

$$G_s = \frac{P_{mm}}{\frac{P_1}{G_m} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.7)$$

- e. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in the Compated Mixture*) dalam persen terhadap total volume :

$$VIM = 100 \times \left(\frac{P_{mm} + P_b}{G_{mm}} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

- f. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume :

$$VMA = 100 \times \left(\frac{G_{mb} + P_s}{G_{sb}} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

- g. Berat isi atau Kepadatan (*density*) :

$$\text{Density} = \frac{\text{Berat benda uji di udara}}{\text{Isi benda uji}} \dots\dots\dots (2.10)$$

- h. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap total volume:

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \dots\dots\dots (2.11)$$

- i. *Marshall Quotient (MQ)* :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.12)$$

- j. Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60 °C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas

standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), dan dihitung sebagai berikut :

$$MQ = \frac{MSI}{MSS} \times 100. \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

Gsb	: Berat Jenis Bulk total agregat dalam gr/cc
P1, P2, P3, ..., Pn	: Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
Gsb1, Gsb2, Gsb3, ..., Gsbn	: Berat Jenis Bulk dari agregat 1, 2, 3, ..., n
Gsa	: Berat Jenis Apparent dari total agregat
Gsa1, Gsa2, Gsa3, ..., Gsan	: Berat Jenis Apparent dari agregat 1, 2, 3, ..., n
Gse	: Berat Jenis Efektif dari total agregat
Gmm	: Berat Jenis Teoritis maksimum dari campuran padat tanpa rongga udara.
Pmm	: Total campuran yang hilang.
Persen dari total campuran	: 100 %
Pb	: Kadar aspal dari total berat campuran
Gb	: Berat Jenis dari aspal
Ps	: Persentase agregat, persen dari total berat campuran
Gmb	: Berat Jenis Bulk dari campuran
VIM	: <i>Void in the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran), Persen dari total volume
VMA	: <i>Void in Mineral Aggregate</i> (Persen rongga dalam mineral agregat), persen dari volume bulk
VFA	: Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari <i>VMA</i>
MS	: Stabilitas Marshall

MF	: <i>Marshall Flow</i> (kelelahan)
MQ	: <i>Marshall Quotient</i>
MSS	: Stabilitas Marshall kondisi standar

2.11 Analisa Data

2.11.1 Pengujian Perbedaan Tiga Rata-rata (ANOVA)

Analisa varians (analysis of variance, ANOVA) adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Dalam literatur Indonesia metode ini dikenal dengan berbagai nama lain, seperti analisis ragam, sidik ragam, dan analisis variansi. Ia merupakan pengembangan dari masalah Behrens-Fisher, sehingga uji-F juga dipakai dalam pengambilan keputusan. Analisis varians pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, bapak statistika modern. ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariate yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya.

Hasil pengujian statistik menghasilkan dua kemungkinan keputusan yaitu menolak hipotesis nol dan gagal menolak hipotesis nol. Keputusan uji statistik dapat dicari dengan salah satu pendekatan yaitu pendekatan klasik. Pendekatan klasik digunakan untuk memutuskan apakah H_0 ditolak atau gagal ditolak, dapat digunakan dengan cara membandingkan nilai perhitungan uji statistik dengan nilai pada tabel. Nilai tabel yang dilihat sesuai dengan jenis distribusi uji yang kita lakukan.

Ketentuan :

1. Bila nilai perhitungan uji statistik lebih besar dibandingkan nilai yang berasal dari tabel (nilai perhitungan $>$ nilai tabel), maka keputusannya : H_0 ditolak, artinya : ada perbedaan kejadian yang signifikan antara kelompok data satu dengan kelompok data yang lain.
2. Bila nilai perhitungan uji statistik lebih kecil dibandingkan nilai yang berasal dari tabel (nilai perhitungan $<$ nilai tabel), maka nilai keputusannya : H_0 gagal ditolak, artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelompok data satu dengan kelompok data lain. Perbedaan yang ada hanya akibat dari faktor kebetulan.

2.11.2 Standar deviasi

Standar deviasi adalah nilai statistik yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu ke mean – atau rata-rata – nilai sampel.

$$s = \sqrt{\frac{(\Sigma(Xi - X)^2)}{n - 1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.11.3 Pendugaan Hasil Pengujian

Pendugaan merupakan proses yang menggunakan sampel statistik untuk menduga atau menaksir hubungan parameter populasi yang tidak diketahui atau pendugaan interval yang dibatasi oleh dua nilai, yaitu nilai batas bawah dan batas atas. Salah satu pendugaan berdasarkan parameter adalah pendugaan rata-rata. Pendugaan rata-rata sampel adalah menentukan interval nilai rata-rata sampel yang dapat memuat parameter rata-rata populasi, jika dipakai distribusi probabilitas normal.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode pelaksanaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian Marshall dengan menggunakan alat digital dan analog. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati tentang “Evaluasi Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-BC Menggunakan Alat Uji Marshall Analog dan Digital”. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka pada bab ini perlu dijelaskan rancangan penelitian sebagai berikut.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember pada tahun 2014.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Agregat kasar (kerikil), diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari Jember.
2. Agregat halus (pasir) menggunakan pasir kali dari Lumajang.
3. Agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil abrasi (*Los Angeles*) di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Untuk bahan aspal menggunakan aspal produksi PT. Pertamina pen 60/70.

3.4 Alat Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Alat uji pemeriksaan aspal

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

2. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar (yang terdiri dari ukuran #1.5, #1, $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #8, #16, #30, dan #200), alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *sand equivalent*.

3. Alat uji karakteristik Marshall pada campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, yaitu alat uji analog (DBA BTE-500) dan alat uji digital (VJT cs-MARS) yang meliputi:

- a. Alat tekan Marshall yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 5000kg (50 kN) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
- b. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
- c. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 - 1) Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
 - 2) Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,48 x 30,48 x 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
- d. Alat pengeluaran benda uji :

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

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

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Pengujian Aspal

1. Pengujian penetrasi aspal, untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek sesuai dengan SNI 06 – 2456 – 1991.
2. Pengujian Daktilitas bahan-bahan aspal, untuk nilai keelastisitasan aspal yang diukur dari jarak terpanjang antara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada suhu 25 °C dan dengan kecepatan 50 mm/menit. Sesuai dengan SNI 06-2432-1991.

3. Pengujian kehilangan berat, untuk mengetahui kehilangan berat minyak setelah dipanaskan serta mengetahui perubahan sifat fisik dan stabilitas setelah dipanaskan. Sesuai SNI 06-2440-1991
4. Pengujian berat jenis aspal, untuk menentukan berat jenis aspal. Sesuai SNI 06-2441-1991.

3.5.2 Pengujian Agregat Kasar dan Halus

1. Pengujian Berat jenis dan penyerapan agregat kasar sesuai dengan SNI 03-1969-1990.
2. Pengujian Berat jenis dan penyerapan agregat halus sesuai dengan SNI 03-1970-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus dan kasar SNI 03-1968-1990.
4. Pengujian Keausan Agregat dengan mesin Abrasi SNI 03-2417-1991.

3.5.3 Pengujian Marshall

1. Pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall RSNI M-01-2003.

3.6 Perencanaan Campuran Metode Marshall

Di Indonesia, campuran beraspal panas untuk perkerasan lentur dirancang menggunakan metode Marshall konvensional. Untuk kondisi lalu lintas berat perencanaan Marshall menetapkan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 tumbukan.

Prosedur perencanaannya adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari spesifikasi campuran pekerjaan. Merancang proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran dengan gradasi. Rancangan dilakukan berdasarkan gradasi masing-masing fraksi agregat yang akan dicampur. Berdasarkan berat masing-masing agregat dan proporsi rancangan ditentukan berat jenis agregat campuran. Untuk Laston, perencana dapat memulai pada garis gradasi yang diinginkan dengan cara menentukan sendiri garis gradasi di antara titik-titik kontrol.

2. Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb).
3. Memanaskan aspal untuk pencampuran agregat pada pembuatan benda uji. Agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap, maka pencampuran dilakukan diatas kompor pemanas dan diaduk hingga rata.
4. Setelah temperatur pemadatapan tercapai, maka campuran tersebut dituangkan dalam cetakan yang telah diolesi vaselin terlebih dahulu, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengah.
5. Menyiapkan benda uji Marshall untuk pengujian Marshall (2x75 tumbukan). Untuk mendapatkan kadar aspal optimum umumnya dibuat 5 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5 %. Contoh bila $P_b = 6,5\%$ maka benda uji dibuat pada kadar aspal yaitu 5,5 %; 6,0 %; 6,5 %; 7,0 % dan 7,5 %.
6. Setelah proses pemadatan selesai benda uji dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan ejektor dan diberi kode.
7. Setelah benda uji dingin, terlebih dahulu benda uji di bersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya di udara lalu dilakukan pengukuran tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm.
8. Benda uji direndam dalam air kurang lebih selama 24 jam supaya jenuh.
9. Setelah tercapai kondisi jenuh kemudian benda uji ditimbang beratnya.
10. Benda uji kemudian dikeringkan dengan menggunakan kain pada permukaannya agar kondisi permukaan kering jenuh (*Saturated Surface Dry / SSD*) kemudian ditimbang.
11. Benda uji direndam dalam bak perendam (water bath) selama 30 sampai 40 menit. Prosedur yang seharusnya, perendaman dilakukan dengan suhu tetap 60°C untuk benda uji yang menggunakan aspal padat namun tidak dapat dilaksanakan dengan baik karena keterbatasan alat dan untuk benda uji yang menggunakan aspal cair benda uji dimasukan ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap 25°C.

12. Melakukan pengujian Marshal, sesuai dengan SNI 06-2489-1991, untuk menentukan, stabilitas, kelelahan dan hasil-bagi Marshal.
13. Menghitung nilai kepadatan *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *density*.
14. Menggambarkan grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan parameter Marshall.
15. Menggambarkan batas-batas spesifikasi masing-masing parameter ke dalam grafik *job mix*.
16. Pada grafik tersebut kemudian digambarkan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan.
17. Menentukan bahwa kadar aspal rencana berada dekat atau pada titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter yang disyaratkan.
18. Memastikan bahwa rentang kadar aspal campuran yang memenuhi seluruh kriteria mendekati 0,6 % atau lebih, sehingga memenuhi toleransi produksi yang cukup realistis.

3.7 Pengujian Marshall

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

1. Merendam benda uji dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap 60 °C (± 1 °C) untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukkan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap 25 °C (± 1 °C).
2. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
3. Memasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
4. Memasang arloji pengukur alir pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.

5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
6. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
7. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm permenit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stability*) yang dicapai.
8. Mencatat nilai kelelahan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.8 Uji Pendahuluan

Dalam penelitian terlebih dahulu dilakukan uji pendahuluan. Uji pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik setiap agregat (Aspal pen 60/70, Agregat Kasar, Agregat Halus, Filler) yang di gunakan sama atau tidak dengan agregat yang telah digunakan Aditama pada penelitian sebelumnya. Jika nilai karakteristik agregat yang digunakan kali ini sama dengan yang Aditama maka untuk penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) sama dengan yang di gunakan sebelumnya sehingga dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji sesuai campuran AC-BC dengan aspal penetrasi 60/70.

Dalam penelitian selanjutnya benda uji dengan campuran yang telah ditentukan sebelumnya dicari nilai karakteristik volumetrik yaitu *Density*, VMA, VIM, VFA, dan sifat-sifat mekanik dari campuran yaitu Stabilitas, *Flow*, dan Hasil bagi Marshall (MQ). Kemudian nilai dari masing-masing alat uji analog dan digital dicari rata-ratanya untuk di uji statistik. Pengujian statistik dilakukan dengan menggunakan uji F, dengan membandingkan rata-rata setiap karakteristik Marshall dari kedua alat tersebut.

3.9 Hipotesa

Analisis volumetrik benda uji dan pengujian Marshall menggunakan alat uji digital (VJT-csMARS) akan menghasilkan parameter dan karakteristik Marshall yang

sama dengan alat uji analog (DBA BTE-500) pada campuran aspal panas *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* atau menerima H_0 .

3.10 Analisa Data

Analisa volumetrik benda uji dilakukan untuk membandingkan volumetrik benda uji yang akan digunakan pada pengujian stabilitas dan *flow*. Analisa volumetrik yaitu membandingkan nilai *density*, VMA, VIM, dan VFA pada benda uji untuk masing-masing alat uji digital dan analog.

Untuk mencari nilai perbedaan dua rata-rata dan pendugaan hasil pengujian alat uji Marshall pada campuran *AC-BC* digunakan metode analisa statistik uji F. Uji F dilakukan dengan membandingkan karakteristik Marshall pada campuran yang diuji dengan alat analog dan digital. Dalam penelitian hanya melihat perbandingan hasil pengujian dan pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall pada alat uji analog dan digital. Terlebih dahulu diduga hipotesa pada masing-masing karakteristik marshall, setelah didapatkan nilai perbedaan rata-rata dan pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall dapat dilanjutkan untuk pembahasan, sehingga diperoleh kesimpulan dan saran.

Adapun langkah-langkah perhitungan Uji F yang digunakan sebagai berikut:

1. Setelah semua hasil nilai rata-rata volumetrik dan karakteristik Marshall didapatkan dilakukan statistik deskriptif untuk menceritakan perbedaan antara hasil nilai rata-rata volumetrik dan pengujian Marshall yang diuji dengan menggunakan digital dan analog.
2. Untuk menganalisis tingkat signifikansi data yang dihasilkan, digunakan Uji F (*Paired Sample for Means*) dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:
 - a. Menghitung nilai perbedaan rata-rata
 - 1) Mencari nilai rata-rata sampel yang diteliti

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

- 2) Menghitung nilai standart deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots (3.3)$$

- 3) Merumuskan hipotesis

H₀ : μ₁ – μ₂ – μ₃ = 0 (μ₁ = μ₂), maka hipotesis H₀ diterima

H₁ : μ₁ – μ₂ – μ₃ ≠ 0 (μ₁ ≠ μ₂), maka hipotesis H₁ diterima

Maka kaidah keputusannya adalah sebagai berikut:

Jika nilai F_{hitung} ≥ F_{tabel} maka H₁ diterima dan H₀ ditolak, artinya ada perbedaan yang signifikan dari hasil pengujian menggunakan alat uji analog dan alat uji digital. Jika F_{hitung} ≤ F_{tabel} maka H₀ diterima dan H₁ ditolak, artinya tidak ada perbedaan yang signifikan dari hasil pengujian menggunakan alat uji analog dan alat uji digital.

- 4) Pengujian hipotesis dengan Perbedaan Tiga Rata-rata Anova

$$F_{hitung} = \frac{V_A}{V_D} = \frac{JK_A}{JK_D} = \frac{\text{Varian Antara Group}}{\text{Varian Dalam Group}} \dots\dots\dots (3.4)$$

- 5) Sehingga dari analisa pengujian hipotesis dapat diketahui apakah ada perbedaan yang signifikan atau tidak antara kedua hasil pengujian yang diuji dengan menggunakan alat uji analog dan alat uji digital pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*.

- b. Menghitung pendugaan hasil pengujian

- 1) Menentukan rata-rata sampel

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n) \dots\dots\dots (3.5)$$

- 2) Menentukan tingkat kesalahan sebesar 5 % atau probabilitas sebesar 95 %.

- 3) Menentukan standart deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$sx = \sqrt{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots(3.7)$$

- 4) Menghitung nilai pendugaan hasil pengujian

$$\bar{X} - f\alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f\alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3.8)$$

- 6) Sehingga dari analisa pendugaan hasil pengujian pada alat uji analog dan alat uji digital pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC – BC) dapat diketahui nilai selang atau nilai batas atas dan batas bawah.

3.11 Acuan Normatif

Acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

SNI 03-1968-1990 : Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.

SNI 03-1969-1990 : Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

SNI 03-1970-1990 : Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

SNI 03-2417-1991 : Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.

SNI 06-2432-1991 : Metoda pengujian daktilitas bahan-bahan aspal.

SNI 06-2441-1991 : Metoda pengujian berat jenis aspal padat.

SNI 06-2456-1991 : Metoda pengujian penetrasi bahan-bahan bitumen.

SNI 03-4428-1997 : Metode pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir.

SNI 03-4804-1998 : Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.

SNI 03-6723-2002 : Spesifikasi bahan pengisi untuk campuran beraspal.

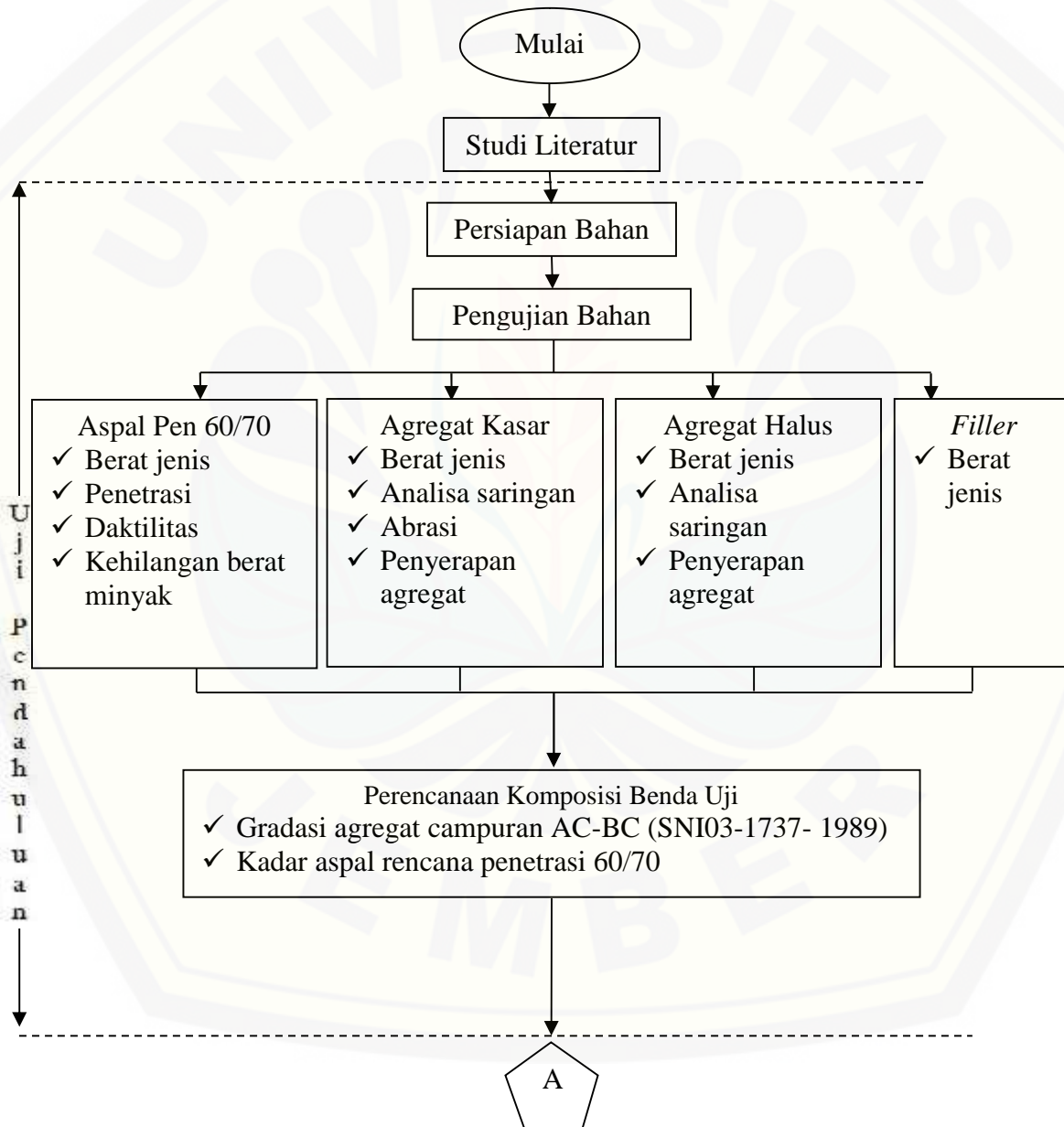
SNI 03-6399-2000 : Tata cara pengambilan contoh aspal.

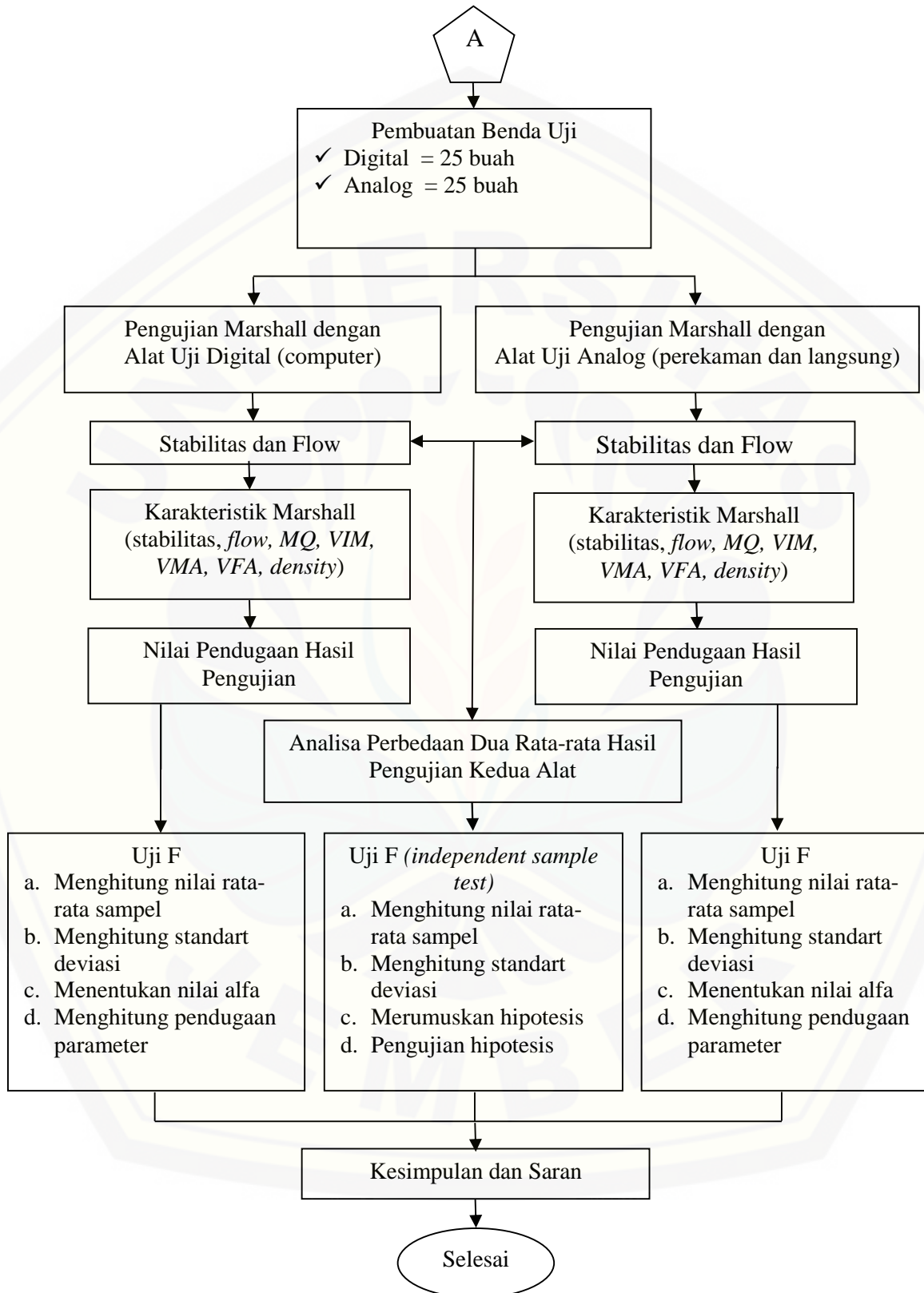
SNI 03-6819-2002 : Spesifikasi agregat halus untuk campuran beraspal.

SNI 03-6757-2002 : Metode pengujian berat jenis nyata campuran beraspal padat menggunakan benda uji kering permukaan jenuh.

RSNI M-01-2003 : Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall.

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.





BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Pendahuluan

Uji Pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kelayakan agregat yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*.

4.1.1 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang diuji adalah agregat yang pada umumnya tertahan pada saringan No.8 atau saringan 2,36 mm. Pada penelitian agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah mesin, yang harus memenuhi syarat yang telah ditentukan. Pemeriksaan agregat kasar meliputi berat jenis *bulk*, berat jenis *SSD*, berat jenis *apparent*, penyerapan air dan abrasi. Hasil pengujian agregat kasar ditunjukkan dalam tabel 4.1 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran A.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Kasar

Pengujian	Standart	Syarat	CA	MA	Ket
Berat jenis Bulk	SNI 03-1969-1990	≥ 2.5	2,55	2,57	memenuhi
Berat jenis SSD	SNI 03-1969-1990	-	2,58	2,62	memenuhi
Berat jenis apparent	SNI 03-1969-1990	-	2,63	2,70	memenuhi
Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	Maks 3%	1,19	1,76	memenuhi
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks 40%	36,1	32,02	memenuhi

1. Dari pemeriksaan agregat kasar dengan menggunakan persyaratan SNI 03-1969-1990 di dapatkan:
 - a. Pengujian berat jenis *bulk*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *CA* sebesar 2,55 dan 2,56, maka rata-rata agregat *CA* sebesar 2,55. Untuk *MA* didapatkan nilai sebesar 2,59 dan 2,56. maka rata-

- rata agregat *MA* sebesar 2,57. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
- b. Pengujian berat jenis *SSD*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *CA* sebesar 2,57 dan 2,59, maka rata-rata agregat *CA* sebesar 2,58. Untuk *MA* didapatkan nilai sebesar 2,63 dan 2,61. maka rata-rata agregat *MA* sebesar 2,62. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
 - c. Pengujian berat jenis *apparent*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *CA* sebesar 2,62 dan 2,64, maka rata-rata agregat *CA* sebesar 2,63. Untuk *MA* didapatkan nilai sebesar 2,70 dan 2,69. maka rata-rata agregat *MA* sebesar 2,70. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
 - d. Pengujian penyerapan air, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *CA* sebesar 1,11 dan 1,26, maka rata-rata agregat *CA* sebesar 1,19. Untuk *MA* didapatkan nilai sebesar 1,67 dan 1,84. maka rata-rata agregat *MA* sebesar 1,76. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
2. Dari pemeriksaan agregat kasar dengan menggunakan persyaratan SNI 03-2417-1991 di dapatkan hasil pengujian abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian dilaksanakan sebanyak dua kali dengan nilai rata-rata agregat *CA* sebesar 36,10%. dan rata-rata agregat *MA* sebesar 32,02%. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

4.1.2 Pengujian Agregat Halus

Secara umum cara analisa agregat kasar dan agregat halus sama akan tetapi pada pengujian agregat halus diperlukan ketelitian yang tinggi karena gradasi yang halus lebih sulit pengujiannya daripada agregat kasar. Pemeriksaan agregat halus meliputi berat jenis *bulk*, berat jenis *SSD*, berat jenis *apparent*, dan penyerapan air.

Hasil pengujian agregat halus ditunjukkan dalam Tabel 4.2 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran A.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Halus

Karakteristik	Standart	Syarat	NS	FF	Ket
Berat jenis bulk	SNI 03-1970-1990	≥ 2.5	2,67	2,64	memenuhi
Berat jenis SSD	SNI 03-1970-1991	-	2,71	2,70	memenuhi
Berat jenis apparent	SNI 03-1970-1992	-	2,79	2,83	memenuhi
Penyerapan air	SNI 03-1970-1993	Maks 3%	1,64	2,56	memenuhi

1. Dari pemeriksaan agregat kasar dengan menggunakan persyaratan SNI 03-1970-1990 di dapatkan:

- a. Pengujian berat jenis *bulk*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *NS* sebesar 2,69 dan 2,65, maka rata-rata agregat *NS* sebesar 2,67. Untuk *FF* didapatkan nilai sebesar 2,62 dan 2,65. maka rata-rata agregat *FF* sebesar 2,64. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
- b. Pengujian berat jenis *SSD*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *NS* sebesar 2,73 dan 2,70, maka rata-rata agregat *NS* sebesar 2,71. Untuk *FF* didapatkan nilai sebesar 2,68 dan 2,72. maka rata-rata agregat *FF* sebesar 2,70. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
- c. Pengujian berat jenis *apparent*, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *NS* sebesar 2,79 dan 2,80, maka rata-rata agregat *NS* sebesar 2,79. Untuk *FF* didapatkan nilai sebesar 2,79 dan 2,86. maka rata-rata agregat *FF* sebesar 2,83. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

Pengujian penyerapan air, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali. didapatkan nilai *NS* sebesar 1,27 dan 2,01, maka rata-rata agregat *NS* sebesar 1,64. Untuk *FF* didapatkan nilai sebesar 2,33 dan 2,79. maka rata-rata agregat *FF* sebesar 2,56. Sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

4.1.3 Pengujian *Filler*

Pemeriksaan *filler* hanya terdiri pengujian berat jenis. Hasil pengujian *filler* ditunjukkan dalam Tabel 4.3 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran A.

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik *Filler*

No	Pengujian	Metoda	Syarat	Nilai	Keterangan
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	≥ 1 gr/cc	1.5	memenuhi

Dari pemeriksaan *filler* dengan menggunakan persyaratan SNI 15-2531-1991 di dapatkan nilai dari pengujian sebanyak dua kali yaitu 2,32 dan 2,31. Sehingga didapatkan rata-rata sebesar 2,31, dan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

4.1.4 Pengujian Aspal

Pemeriksaan sifat dari aspal bertujuan untuk mengetahui apakah aspal yang akan digunakan telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Aspal yang digunakan dalam penelitian adalah aspal produksi PT. Pertamina penetrasi 60/70 Pengujian terdiri dari pengujian berat jenis, penetrasi, daktalitas, dan kehilangan berat minyak. Hasil pengujian agregat aspal ditunjukkan dalam Tabel 4.4 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran A.

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen 60/70

No	Sifat-sifat	Metode	Pen. 60/70		Satuan	Nilai	Ket
			Min	Max			
1	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2456-1991	1	-	gr/cm ³	1,037	memenuhi
2	Penetrasi (25°C, 100gr, 5 detik)	SNI 06-2440-1991	60	79	0,1 mm	70,17	memenuhi
3	Daktalitas (25°C, 5 cm per menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	cm	111	memenuhi
4	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	SNI 06-2488-1991	-	0,8	% berat	0,166	memenuhi

Dari pemeriksaan aspal dengan menggunakan persyaratan SNI 06-2456-1991 di dapatkan:

1. Pengujian berat jenis aspal, digunakan untuk mencari nilai berat jenis aspal yang akan digunakan sebagai campuran. Dengan melaksanakan pengujian sebanyak tiga kali dengan hasil 1,053 gr/cm³; 1,014 gr/cm³ dan 1,043 gr/cm³.

Sehingga didapatkan rata-rata sebesar $1,037 \text{ gr/cm}^3$ dan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

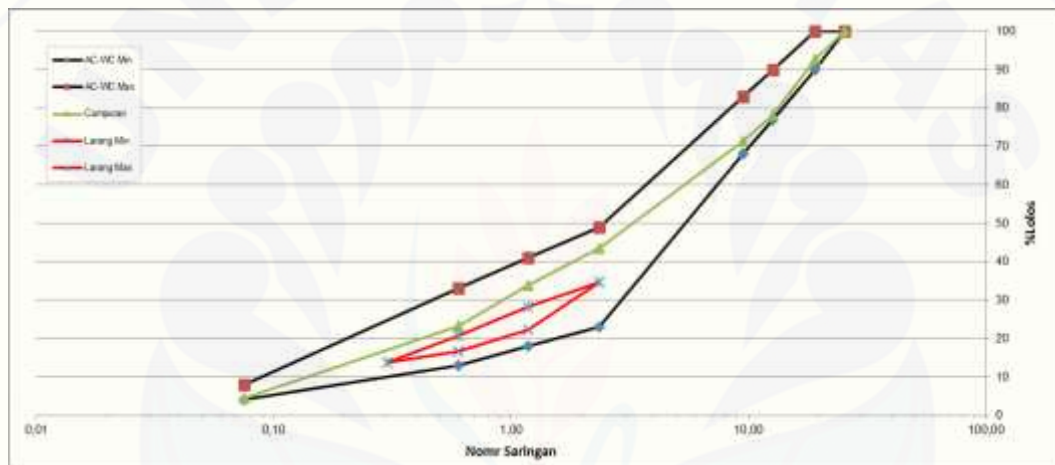
2. Pengujian penetrasi, digunakan untuk mencari nilai kekerasan aspal. Nilai penetrasi didapat dari alat penetrometer pada suhu 25°C dengan beban 100 gr selama 5 detik. Dengan melaksanakan pengujian sebanyak tiga kali dengan hasil 76,00 mm; 78,67 mm dan 77,33 mm. Sehingga didapatkan rata-rata sebesar 77,33 mm dan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
3. Pengujian daktilitas, digunakan untuk mengukur jarak terpanjang aspal yang dapat ditarik pada cetakan sebelum aspal putus, pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Dengan melaksanakan pengujian sebanyak tiga kali dengan hasil 105 cm, 129 cm dan 100 cm. Sehingga didapatkan rata-rata sebesar 111 cm dan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.
4. Pengujian kehilangan berat minyak, dengan melaksanakan pengujian sebanyak dua kali dengan hasil 0,109 %; 0,087 dan 0,091 %. Sehingga didapatkan rata-rata sebesar 0,096 % dan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan.

4.1.5 Perencanaan Campuran

Setelah dilakukan pemeriksaan dan pengujian pada agregat kasar, agregat halus dan aspal, kemudian menganalisa proporsi agregat campuran. Dengan melaksanakan pengujian menggunakan analisa saringan didapatkan data untuk mengetahui spesifikasi gradasi campuran. kemudian menentukan proporsi beton aspal sesuai spesifikasi *AC-BC* yang mengacu pada tabel 2.1 di bab 2. Hasil penentuan proporsi agregat ditunjukkan dalam Tabel 4.5 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran B.

Tabel 4.5 Hasil Analisa Saringan

NomorSaringan	Persen Lolos				Proporsi Campuran				Campuran 100%	Spesifikasi		Tertahan Gram	Gram
	CA	MA	NS	FF	CA	MA	NS	FF		%			
					25%	25%	15%	35%					
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	25,00	25,00	15,00	35,00	100,00	100	100	0,00	0,00
3/4"	74,34	100,00	100,00	100,00	18,59	25,00	15,00	35,00	93,59	99	100	6,41	76,98
1/2"	12,44	99,73	100,00	100,00	3,11	24,93	15,00	35,00	78,04	-	90	15,54	186,51
3/8"	2,86	82,31	100,00	100,00	0,72	20,58	15,00	35,00	71,29	-	-	6,75	81,00
No.8	0,00	0,67	95,63	82,99	0,00	0,17	14,34	29,05	43,56	23	49	27,73	332,81
No.16	0,00	0,00	86,29	59,94	0,00	0,00	12,94	20,98	33,92	-	-	9,64	115,63
No.30	0,00	0,00	63,00	39,35	0,00	0,00	9,45	13,77	23,22	-	-	10,70	128,40
No.200	0,00	0,00	0,00	12,63	0,00	0,00	0,00	4,42	4,42	4	8	18,80	225,62
Pan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			4,42	53,05
Jumlah											100	1200	



Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan

Dari pengujian analisa saringan diatas, untuk memenuhi kebutuhan campuran beton aspal *AC-BC* sesuai spesifikasi, diperoleh komposisi agregat pada setiap gradasinya yang terdiri dari empat fraksi, yaitu :

1. Kebutuhan fraksi agregat *CA* sebesar 25%
2. Kebutuhan fraksi agregat *MA* sebesar 25%
3. Kebutuhan fraksi agregat *NS* sebesar 15%
4. kebutuhan fraksi agregat *FF* sebesar 35%

4.1.6 Menentukan Komposisi Aspal Terhadap Campuran

Perhitungan komposisi aspal digunakan untuk mengetahui nilai aspal ideal dan sebagai perkiraan untuk mencari kadar aspal optimum. Rumus yang dapat digunakan untuk perhitungan perkiraan kadar aspal optimum ada dua, yaitu berdasarkan *Asphalt institute* ^(MS-2) dan spesifikasi Depkimpraswil 2002. Karena di Indonesia pada umumnya menggunakan spesifikasi Depkimpraswil 2002 maka penentuan kadar aspal optimum dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{ filler}) + K \\ &= 0,035 (56,44) + 0,045 (39,14) + 0,18 (4,42) + 0,75 \\ &= 5,28 \% \approx 5,30\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai perkiraan kadar aspal ideal sebesar 5,81 % terhadap total agregat. Kemudian kadar aspal ideal tersebut dibuat benda uji dengan variasi $\pm 1,5$ % dari kadar aspal ideal dengan interval masing – masing 0,5%. Dengan demikian variasi kadar aspal adalah 4,30 % ; 4,80% ; 5,30 % ; 5,80 % ; 6,30 %.

4.2 Karakteristik Volumetrik Benda Uji

Dalam melakukan pengujian benda uji terlebih dahulu harus melakukan uji pendahuluan yang bertujuan untuk mengetahui apakah benda uji yang akan di uji di alat uji analog dan alat uji digital ini memiliki kemiripan volumetrik atau tidak, cara untuk mengetahui benda uji ini memiliki kemiripan volumetrik atau tidak adalah dengan cara menghitung *Density*, VMA, VIM, dan VFA dari setiap masing-masing kadar aspal yang akan di uji pada alat uji analog dan digital. Untuk hasil perhitungan *Density*, VMA, VIM, dan VFA akan ditampilkan dalam tabel 4.6 dan untuk hitungan manual di tunjukan pada lampiran.

Tabel 4.6 Hasil Karakteristik Volumetrik Benda Uji

Kadar Aspal (%)	Volumetrik Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Analog		Digital		Alfa	F hitung	F kritis	Ket
			Rata-rata	Deviasi	Rata-rata	Deviasi				
4,30	Density	5	2,23	0,0110	2,23	0,0104	0,05	0,739	5,32	diterima
4,80		5	2,24	0,0113	2,24	0,0117	0,05	0,006	5,32	diterima
5,30		5	2,25	0,0110	2,25	0,0107	0,05	0,031	5,32	diterima
5,80		5	2,28	0,0097	2,28	0,0095	0,05	0,221	5,32	diterima
6,30		5	2,34	0,0177	2,34	0,0158	0,05	0,042	5,32	diterima
4,30	VIM	5	10,59	0,4428	10,32	0,4173	0,05	0,739	5,32	diterima
4,80		5	9,66	0,4549	9,63	0,4724	0,05	0,006	5,32	diterima
5,30		5	8,51	0,4483	8,57	0,4334	0,05	0,031	5,32	diterima
5,80		5	6,72	0,3978	6,86	0,3888	0,05	0,221	5,32	diterima
6,30		5	3,56	0,7291	3,68	0,6520	0,05	0,016	5,32	diterima
4,30	VMA	5	20,45	0,3939	20,21	0,3713	0,05	0,739	5,32	diterima
4,80		5	20,16	0,4020	20,13	0,4175	0,05	0,006	5,32	diterima
5,30		5	19,66	0,3937	19,72	0,3806	0,05	0,031	5,32	diterima
5,80		5	18,62	0,3471	18,74	0,3392	0,05	0,221	5,32	diterima
6,30		5	16,40	0,6321	16,49	0,5652	0,05	0,016	5,32	diterima
4,30	VFA	5	48,24	1,1587	48,96	1,1191	0,05	0,756	5,32	diterima
4,80		5	52,09	1,2897	52,18	1,3748	0,05	0,006	5,32	diterima
5,30		5	56,76	1,4327	56,57	1,3685	0,05	0,031	5,32	diterima
5,80		5	63,93	1,4467	63,41	1,4113	0,05	0,225	5,32	diterima
6,30		5	78,38	3,6247	77,80	3,1051	0,05	0,018	5,32	diterima

Dari tabel 4.6 menunjukkan bahwa benda uji yang akan di uji pada alat uji analog dan digital memiliki volumetrik yang hampir sama, sehingga benda uji layak untuk di uji marshall pada alat uji analog dan digital.

4.3 Perbandingan Hasil Karakteristik Volumetrik Benda Uji Alat Uji Analog dan Digital

Untuk mengetahui perbedaan volumetrik benda uji yang akan digunakan di alat uji analog dan digital maka perlu dijelaskan secara ringkas perilaku nilai volumetrik dari benda uji kedua alat.

1. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap *Density*

Density menunjukkan besarnya nilai kepadatan benda uji setelah dipadatkan. Nilai *density* dipengaruhi oleh penumbukan pada proses pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Dari hasil analisa pada tiga populasi yang telah diuji menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai *Density*. Perbandingan nilai *Density* yang digunakan pada alat uji analog (pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital ditunjukkan pada gambar 4.2.



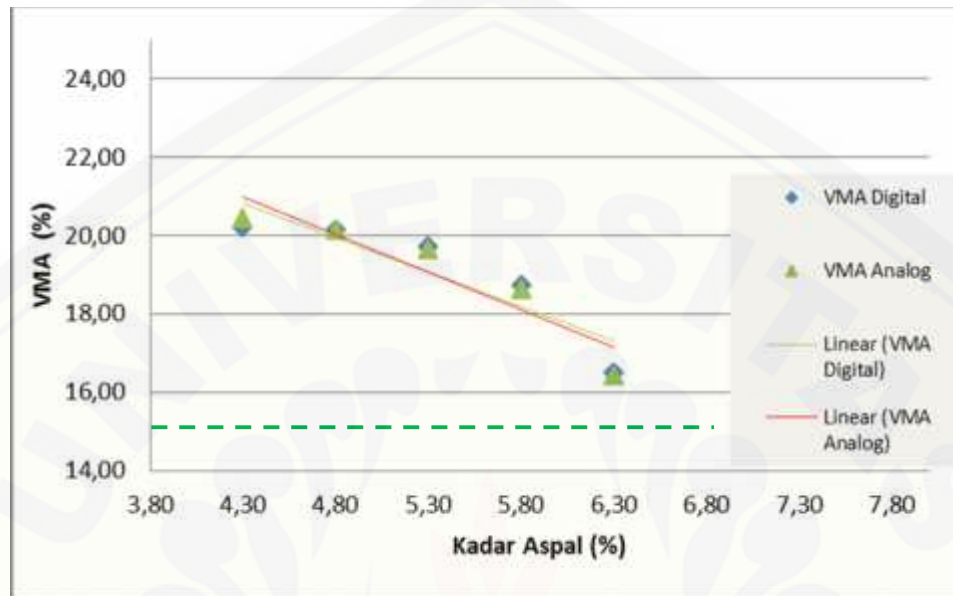
Gambar 4.2 Perbandingan Hasil Pengujian *Density*

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa, nilai *Density* yang dihasilkan kedua alat sudah memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran AC-BC seperti pada tabel 2.2 di bab 2. Untuk nilai rata-rata *Density* hasil perhitungan yang akan di uji menggunakan alat uji analog yaitu sebesar 2,23 (Pengamatan langsung) dan 2,23 (perekaman video), sama dengan nilai rata-rata *Density* yang akan diuji dengan alat uji digital yaitu sebesar 2,24. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan pada campuran beton aspal padat, yang akan di uji menggunakan alat uji analog hampir sama dengan alat uji digital. Sehingga kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan, supaya tidak tergelincir pada kedua alat kerapatannya hampir sama.

2. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap VMA

Volume pori dalam agregat campuran (*VMA*) menunjukkan banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. Dari hasil analisa pada tiga populasi yang akan diuji menggunakan alat uji analog (pengamatan langsung dan

perekaman video) dan digital, didapatkan nilai *VMA*. Perbandingan nilai *VMA* yang digunakan pada alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.3.



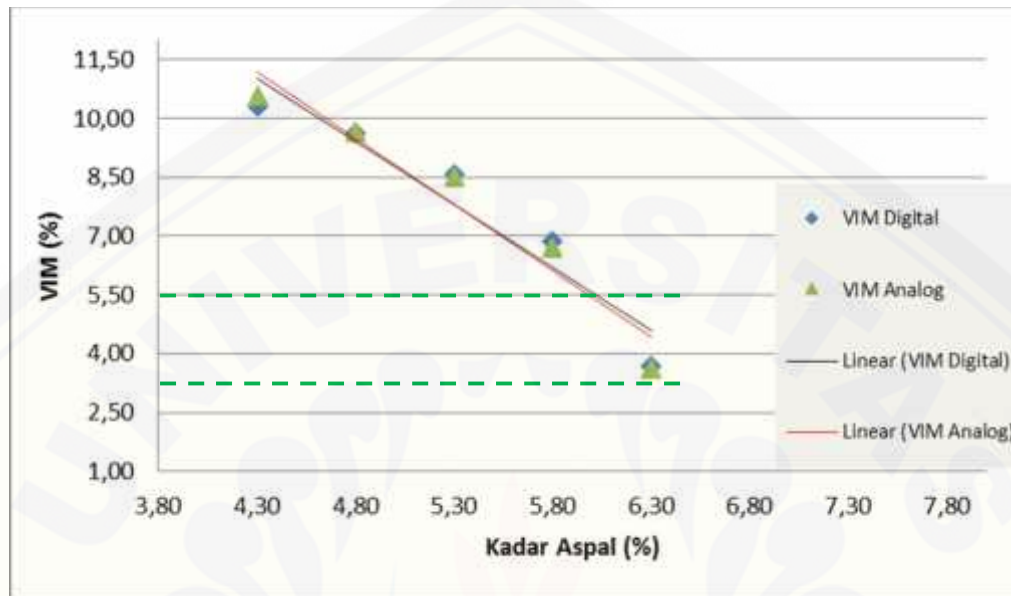
Gambar 4.3 Perbandingan Hasil Pengujian *VMA*

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa, nilai *VMA* yang dihasilkan kedua alat sudah memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran *AC-BC* seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu minimal 15 %. Untuk nilai rata-rata *VMA* hasil perhitungan yang akan di uji menggunakan alat uji analog (pengamatan langsung dan perekaman video), lebih tinggi dari pada nilai rata-rata *VMA* yang akan diuji dengan alat uji digital. Hal ini menunjukkan bahwa rongga pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat yang akan di uji menggunakan alat uji analog lebih besar dari pada alat uji digital.

3. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital terhadap *VIM*

Volume pori dalam beton aspal padat (*VIM*) dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir agregat akibat beban setelah pemadatan, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Dari hasil analisa pada tiga populasi yang akan diuji

menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai *VIM*. Perbandingan nilai *VIM* yang digunakan pada alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.4.



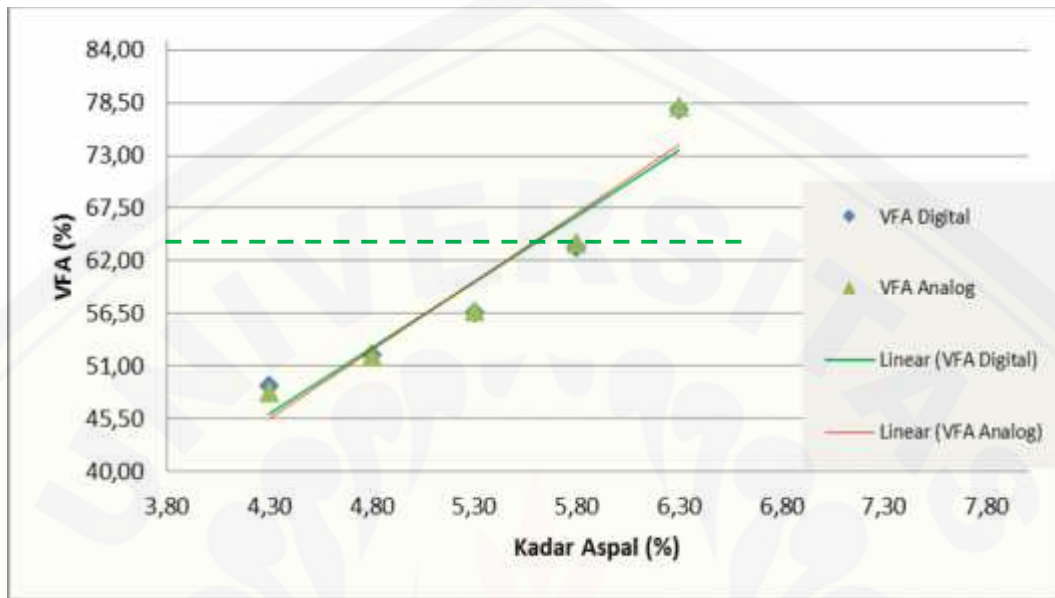
Gambar 4.4 Perbandingan Hasil Pengujian *VIM*

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa, nilai *VIM* yang dihasilkan kedua alat tidak memenuhi syarat yang ditentukan untuk campuran *AC-BC* seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu 3,5-5,5 %. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji yang akan di uji menggunakan alat analog dan alat digital akan mengalami proses oksidasi dan penuaan aspal yang lebih cepat serta menurunkan durabilitas beton aspal.

4. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap *VFA*

Banyaknya pori-pori antara butir agregat (*VFA*) menunjukkan bagian dari *VMA* yang terisi aspal, aspal yang mengisi *VFA* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat dalam beton aspal padat. Dari hasil analisa pada tiga populasi yang akan diuji menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai

VFA. Perbandingan nilai VFA yang digunakan pada alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbandingan Hasil Pengujian VFA

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa, nilai VFA yang dihasilkan kedua alat belum memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran AC-BC seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu minimal 63 %. Hal ini menunjukkan bahwa aspal yang menyelimuti butir agregat di dalam beton aspal padat yang akan di uji menggunakan alat uji analog dan digital lebih rendah. Sehingga kemampuan menahan keausan dari pengaruh cuaca dan iklim pada beton aspal kurang baik.

4.4 Pengujian Marshall dengan Alat Analog

Setelah melakukan pengujian volumetrik pada semua campuran AC-BC yang terdiri dari beberapa varian kadar aspal dengan jumlah 25 buah benda uji (pengamatan langsung dan perekaman video).

Pada pengujian menggunakan alat uji analog, dalam pembacaan dial stabilitas dan *flow* dilakukan dengan pembacaan secara langsung dan bantuan alat perekam atau video.

Setelah dilakukan pengujian Marshall maka didapatkan nilai karakteristik Marshall. Kemudian dianalisa nilai rata-rata dari setiap karakteristiknya. Hasil pengujian karakteristik Marshall dan rata-rata dengan alat uji analog ditunjukkan dalam tabel 4.7 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran C.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Alat Uji Analog Pengamatan

Langsung

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,30	1622,03	4,20	386,20
2	4,30	1555,15	3,90	398,76
3	4,30	1622,03	4,70	345,11
4	4,30	1571,87	4,10	383,38
5	4,30	1504,98	3,70	406,75
Rata-rata		1575,21	4,12	384,04
Deviasi		49,3228	0,37683	23,7313
6	4,80	1421,37	3,90	364,45
7	4,80	1688,92	4,90	344,68
8	4,80	1588,59	4,70	338,00
9	4,80	1588,59	4,30	369,44
10	4,80	1571,87	4,60	341,71
Rata-rata		1571,87	4,48	351,66
Deviasi		96,0606	0,38987	14,267
11	5,30	1421,37	4,50	315,86
12	5,30	1438,09	4,80	299,60
13	5,30	1438,09	4,10	350,75
14	5,30	1555,15	4,40	353,44
15	5,30	1622,03	4,90	331,03
Rata-rata		1494,95	4,54	330,14
Deviasi		88,9573	0,32094	22,9411
16	5,80	1438,09	4,00	359,52
17	5,80	1605,31	5,40	297,28
18	5,80	1387,93	4,90	283,25
19	5,80	1504,98	4,40	342,04
20	5,80	1404,65	4,20	334,44
Rata-rata		1468,19	4,58	323,31
Deviasi		88,8	0,56745	31,8922

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
21	6,30	1387,93	5,00	277,59
22	6,30	1298,74	4,80	270,57
23	6,30	1343,33	4,60	292,03
24	6,30	1315,46	4,30	305,92
25	6,30	1365,63	4,60	296,88
Rata-rata		1342,22	4,66	288,60
Deviasi		36,2096	0,26077	14,3759
Spesifikasi		min 800	min 3	min 250

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Alat Uji Analog Pengamatan
Dengan Bantuan Video

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,30	1605,31	4,10	391,54
2	4,30	1571,87	3,70	424,83
3	4,30	1638,76	4,60	356,25
4	4,30	1538,42	4,10	375,23
5	4,30	1438,09	3,80	378,45
Rata-rata		1558,49	4,06	385,26
Deviasi		76,9939	0,35071	25,4647
6	4,80	1387,93	4,00	346,98
7	4,80	1655,48	4,90	337,85
8	4,80	1538,42	4,60	334,44
9	4,80	1571,87	4,30	365,55
10	4,80	1555,15	4,50	345,59
Rata-rata		1541,77	4,46	346,08
Deviasi		97,0741	0,33615	12,0762
11	5,30	1404,65	4,50	312,14
12	5,30	1571,87	4,70	334,44
13	5,30	1421,37	4,00	355,34
14	5,30	1538,42	4,50	341,87
15	5,30	1638,76	4,80	341,41
Rata-rata		1515,01	4,50	337,04
Deviasi		100,053	0,30822	15,8428

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
16	5,80	1421,37	3,90	364,45
17	5,80	1588,59	5,40	294,18
18	5,80	1387,93	4,90	283,25
19	5,80	1488,26	4,30	346,11
20	5,80	1404,65	4,20	334,44
Rata-rata		1458,16	4,54	324,49
Deviasi		82,2614	0,60249	34,5782
21	6,30	1387,93	4,90	283,25
22	6,30	1287,59	4,80	268,25
23	6,30	1354,48	4,70	288,19
24	6,30	1304,32	4,40	296,44
25	6,30	1371,20	4,40	311,64
Rata-rata		1341,10	4,64	289,55
Deviasi		43,2838	0,23022	16,051
Spesifikasi		min 800	min 3	min 250

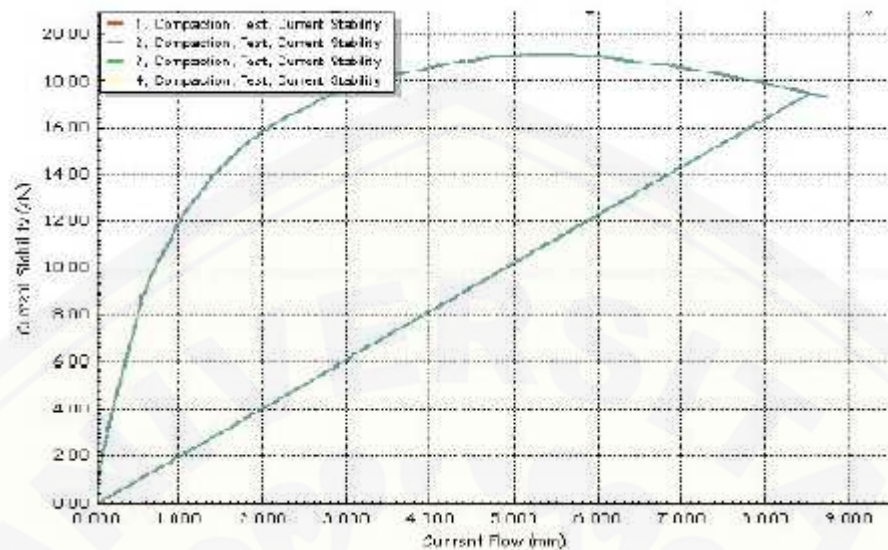
Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil pengujian Marshall dengan menggunakan alat uji analog dengan pengamatan langsung maupun perekaman video menunjukkan bahwa, rata-rata kedua pengujian memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh..

4.5 Pengujian Marshall dengan Alat Uji Digital

Untuk benda uji yang digunakan pada alat digital sama dengan alat uji analog. Yaitu menggunakan semua campuran yang telah di hitung. Campuran yang digunakan adalah campuran AC-BC yang terdiri dari beberapa varian kadar aspal dengan jumlah 25 buah benda uji.

Berbeda dengan alat uji analog, alat uji full digital dalam menghasilkan data stabilitas dan *flow* menggunakan perangkat lunak pada sebuah sistem komputer yang dihubungkan langsung pada alat tersebut. Sehingga sistem ini dapat menghasilkan data tanpa pengamatan langsung oleh mata manusia. Hasil pengujian dengan alat uji digital ditunjukkan dalam gambar 4.6. dan untuk output hasil pengujian karakteristik Marshall dari alat uji full digital disajikan secara lengkap di lampiran.



Gambar 4.6 Hasil Pengujian stabilitas dan *flow* alat uji digital

Setelah dilakukan pengujian Marshall maka didapatkan nilai karakteristik Marshall. Kemudian dianalisa nilai rata-rata dari setiap karakteristiknya. Hasil pengujian karakteristik Marshall dan rata-rata dengan alat uji digital ditunjukkan dalam tabel 4.9 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran C.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Alat uji Digital

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,30	1520,00	4,14	367,15
2	4,30	1520,00	4,08	372,55
3	4,30	1515,00	4,34	349,08
4	4,30	1510,00	4,12	366,50
5	4,30	1510,00	3,50	431,43
Rata-rata		1515,00	4,04	377,34
Deviasi		5	0,316	31,498
6	4,80	1520,00	4,33	351,04
7	4,80	1520,00	4,65	326,88
8	4,80	1580,00	4,11	384,43
9	4,80	1540,00	4,34	354,84
10	4,80	1535,00	4,73	324,52
Rata-rata		1539,00	4,43	348,34
Deviasi		24,59675	0,2544	24,3902

NO	Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
11	5,30	1560,00	4,59	339,87
12	5,30	1560,00	4,68	333,33
13	5,30	1563,00	4,07	384,03
14	5,30	1574,00	4,58	343,67
15	5,30	1555,00	4,56	341,01
Rata-rata		1562,40	4,50	348,38
Deviasi		7,092249	0,2425	20,287
16	5,80	1530,00	4,97	307,85
17	5,80	1530,00	4,76	321,43
18	5,80	1595,00	4,42	360,86
19	5,80	1533,00	4,48	342,19
20	5,80	1525,00	4,14	368,36
Rata-rata		1542,60	4,55	340,14
Deviasi		29,43297	0,3203	25,606
21	6,30	1389,00	4,54	305,95
22	6,30	1389,00	4,52	307,30
23	6,30	1378,00	4,62	298,27
24	6,30	1378,00	4,61	298,92
25	6,30	1380,00	4,73	291,75
Rata-rata		1382,80	4,60	300,44
Deviasi		5,718391	0,0826	6,32206
Spesifikasi		min 800	min 3	min 250

Sumber : Hasil Perhitungan

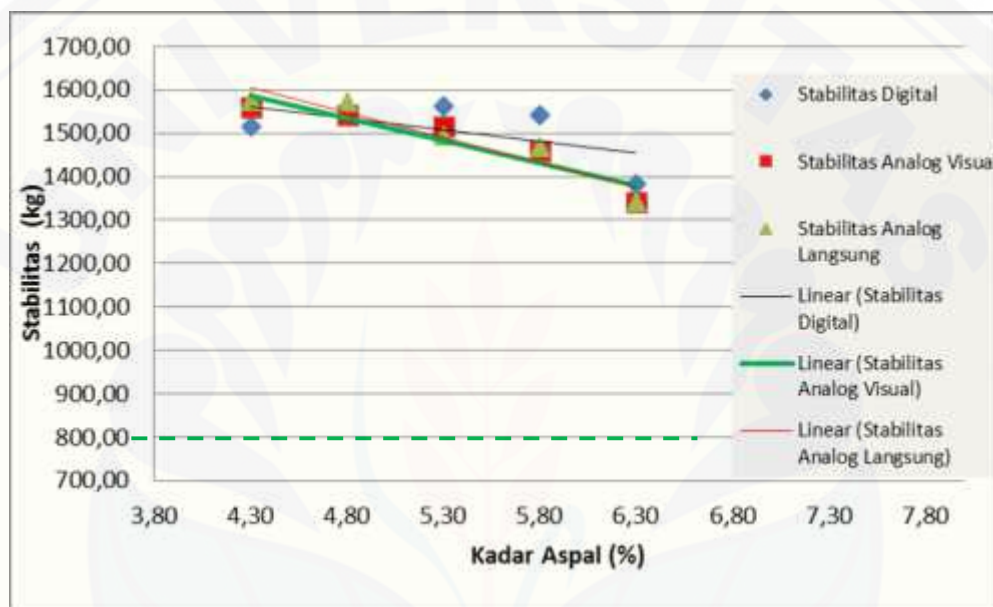
Dari hasil pengujian Marshall dengan menggunakan alat uji digital semua varian kadar aspal akan di bandingkan dengan hasil uji analog untuk mengetahui perbedaannya signifikan atau tidak.

4.6 Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Alat Uji Analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan Digital

Untuk mengetahui perbedaan penggunaan alat uji Marshall terhadap nilai pengujian Marshall maka perlu dijelaskan secara ringkas perilaku nilai karakteristik Marshall dari pengujian dengan kedua alat.

1. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap Stabilitas

Stabilitas menunjukkan kemampuan suatu perkerasan dalam menerima beban atau deformasi. Pada perkerasan jalan campuran *AC-BC* persyaratan nilai minimum stabilitas adalah 800 kg. Dari hasil pengujian karakteristik Marshall pada tiga populasi yang telah diuji menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai Stabilitas. Perbandingan nilai Stabilitas yang dihasilkan dari alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.7.

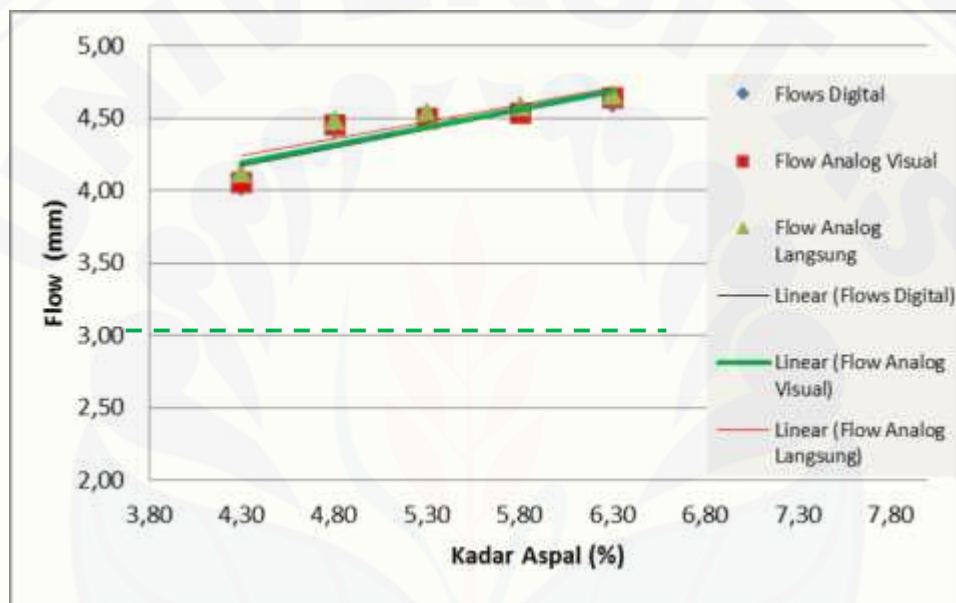


Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Pengujian Stabilitas

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa, nilai stabilitas yang dihasilkan kedua alat sudah memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran *AC-BC* seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu minimal 800 kg. Untuk nilai rata-rata stabilitas hasil pengujian menggunakan alat uji analog dan alat uji digital, lebih tinggi dari pada batas minimum. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan menahan beban dalam beton aspal padat yang telah di uji lebih tinggi.

2. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap *Flow*

Kelelahan atau fleksibilitas menunjukkan kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan akibat beban atau deformasi. Dari hasil pengujian karakteristik Marshall pada tiga populasi yang telah diuji menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai *flow*. Perbandingan nilai *flow* yang dihasilkan dari alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar 4.8.

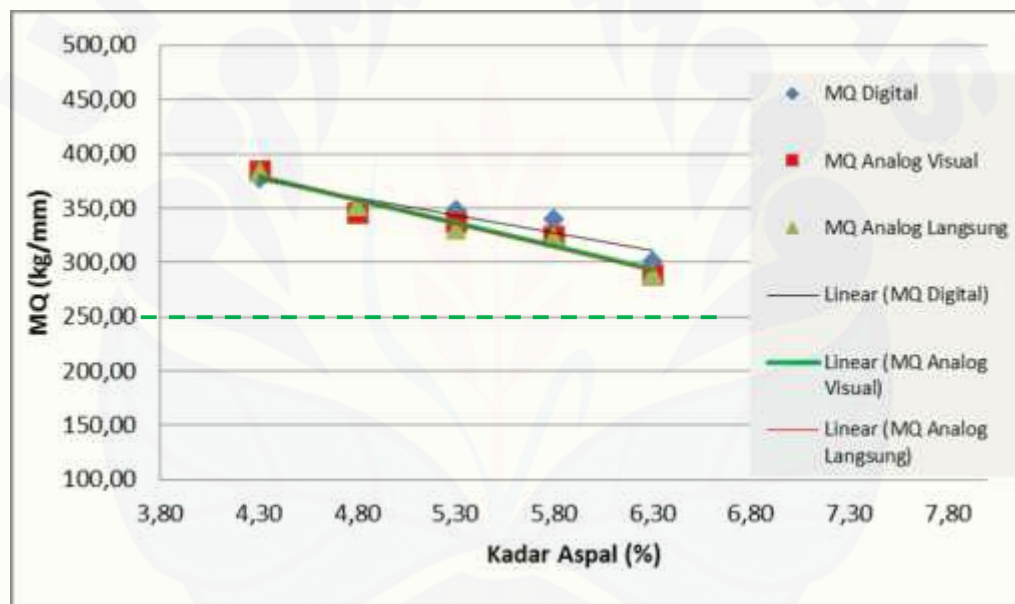


Gambar 4.8 Perbandingan Hasil Pengujian *Flow*

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa, nilai *flow* yang dihasilkan kedua alat sudah memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran *AC-BC* seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu minimal 3 mm. Untuk nilai rata-rata *flow* hasil pengujian menggunakan alat uji analog dan alat uji digital lebih tinggi dari pada batas minimum. Hal ini menunjukkan bahwa kelelahan plastis akibat deformasi dalam beton aspal padat dan kemampuan beton aspal untuk menerima repetisi beban tanpa terjadinya retak.

3. Penggunaan Alat Uji analog (Pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital Terhadap MQ

Marshall Quotient menunjukkan kemampuan beton aspal dalam menerima lendutan akibat adanya beban tanpa menimbulkan kelelahan. *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi stabilitas terhadap *flow*. Dari hasil pengujian karakteristik Marshall pada tiga populasi yang telah diuji menggunakan alat uji analog dan digital, didapatkan nilai stabilitas dan *Flow*. Dari nilai yang diketahui tersebut dapat dianalisa nilai MQ dari perbandingan stabilitas terhadap *flow*. Perbandingan nilai MQ yang dihasilkan dari alat uji analog dan digital ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.17 Perbandingan Hasil Pengujian MQ

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa, nilai MQ yang dihasilkan kedua alat sudah memenuhi syarat yang ditentukan sesuai campuran *AC-BC* seperti pada tabel 2.2 di bab 2, yaitu minimal 250 kg/mm. Untuk nilai rata-rata MQ hasil pengujian menggunakan alat uji analog dan uji digital deuanya telah meenuhi batas minim. Hal ini menunjukkan bahwa kekakuan dalam beton aspal padat yang telah di uji lebih tinggi.

4.7 Analisa Data

Untuk menganalisa dan mengolah data hasil pengujian karakteristik Marshall dapat menggunakan uji statistik dengan bantuan program SPSS (*Statistical product and service solutions*) atau Microsoft Excel. Untuk analisa data karakteristik Marshall dari nilai volumetrik dan pengujian Marshall menggunakan uji Anova. Uji Anova merupakan alat analisa data untuk menguji lebih dari dua sampel. Membandingkan lebih dari dua rata-rata (*mean*) untuk menentukan apakah perbedaan rata-rata tersebut mempunyai perbedaan nyata atau karena kebetulan dan untuk menduga nilai parameternya.

4.7.1 Analisa Perbedaan Tiga Rata-rata

Analisa dilakukan terhadap hasil pengujian karakteristik Marshall yang di uji dengan alat uji analog (Pengamatan langsung dan Perekaman video) dan alat uji digital, untuk menentukan apakah ada perbedaan secara signifikan atau tidak pada hasil pengujian karakteristik Marshall. Analisa pengujian hipotesa berikut ini menggunakan uji Anova (perbedaan tiga rata-rata), dengan contoh hasil analisa data menggunakan Microsoft Excel ditunjukkan pada tabel 4.10 dan untuk output hasil pengujian terhadap karakteristik Marshall yang lain dapat di lihat secara lengkap di lampiran E.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Microsoft Excel Untuk Stabilitas

SUMMARY					
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>	
Column 1	5	7519,8	1503,96	4930,388	
Column 2	5	7414,537	1482,907	7732,204	
Column 3	5	7452,441	1490,488	9075,4	

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1136,945	2	568,4724	0,078453	0,925015	3,885294
Within Groups	86951,97	12	7245,997			
Total	88088,91	14				

Berdasarkan tabel diatas, nilai hasil pengujian karakteristik Marshall sudah didapatkan melalui analisa data dari hasil pengujian sebanyak 15 buah benda uji. Gambar diatas juga menunjukkan bahwa hasil analisa menggunakan Microsoft Excel terhadap kedua alat uji analog (Pengamatan langsung dan Perekaman video) dan digital menghasilkan data berupa rata-rata dari ketiga poulasi, f_{hitung} dan f_{tabel} atau f_{kritis} . Sehingga dari data hasil analisa Microsoft Excel dapat disusun seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.11 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran D.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Perbedaan Tiga Rata-rata

No	Karakteristik Marshall	Jumlah Benda Uji	Uji Analog Langsung		Uji Analog Perekaman Video		Alat Uji Digital		Alfa	F hitung	F kritis	Ket
			Rata-rata	Deviasi	Rata-rata	Deviasi	Rata-rata	Deviasi				
1	Stabilitas	5	1490,49	95,26	1482,91	87,93	1508,36	72,18	0,05	0,08	3,89	terima
2	Flow	5	4,48	0,21	4,44	0,22	4,42	0,23	0,05	0,07	3,89	terima
3	MQ	5	335,55	35,34	336,48	34,71	342,93	27,64	0,05	0,06	3,89	terima

Selanjutnya untuk mengambil keputusan pengujian perbedaan rata-rata terhadap nilai pengujian Marshall adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas

Pada tabel diatas menunjukkan nilai F_{hitung} sebesar 1,812 dengan $df_1=2$ dan $df_2=12$ sehingga nilai F_{kritis} atau $F_{tabel} = 3,89$ pada taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$). Untuk membuat keputusan apakah hipotesis yang diajukan diterima atau ditolak, maka dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tolak H_0 : $\mu_1 \neq \mu_2$, artinya terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital.

Terima H_0 : $\mu_1 = \mu_2$, artinya tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital.

Untuk kaidah keputusannya adalah :

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka H_0 : ditolak sebaliknya jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Dari hasil perhitungan diperoleh data $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ atau $1,812 \leq 3,89$, maka H_0 diterima. Jadi tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian secara signifikan pada alat uji analog dengan alat uji digital.

2. *Flow*

Pada tabel diatas menunjukkan nilai F_{hitung} sebesar 0,860 dengan $df_1=2$ dan $df_2=12$ sehingga nilai F_{kritis} atau $F_{tabel} = 3,89$ pada taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$). Untuk membuat keputusan apakah hipotesis yang diajukan diterima atau ditolak, maka dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tolak H_0 : $\mu_1 \neq \mu_2$, artinya terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital.

Terima H_0 : $\mu_1 = \mu_2$, artinya tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital:

Untuk kaidah keputusannya adalah :

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka H_0 : ditolak sebaliknya jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Dari hasil perhitungan diperoleh data $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ atau $0,860 \leq 3,89$, maka H_0 diterima. Jadi tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian secara signifikan pada alat uji analog dengan alat uji digital.

3. *MQ (Marshall Quotient)*

Pada tabel diatas menunjukkan nilai F_{hitung} sebesar 1,593 dengan $df_1=2$ dan $df_2=12$ sehingga nilai F_{kritis} atau $F_{tabel} = 3,89$ pada taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$). Untuk membuat keputusan apakah hipotesis yang diajukan diterima atau ditolak, maka dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tolak H_0 : $\mu_1 \neq \mu_2$, artinya terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital.

Terima H_0 : $\mu_1 = \mu_2$, artinya tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian pada alat uji analog (pengamatan langsung dan Perekaman video) dengan alat uji full digital.

Untuk kaidah keputusannya adalah :

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka H_0 : ditolak sebaliknya jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Dari hasil perhitungan diperoleh data $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ atau $1,593 \leq 3,89$, maka H_0 diterima. Jadi tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil pengujian secara signifikan pada alat uji analog dengan alat uji digital.

4.7.2 Pendugaan Hasil Pengujian

Pendugaan hasil pengujian dilakukan untuk menentukan nilai batas bawah dan batas atas atau interval nilai rata-rata sampel yang dapat memuat parameter rata-rata populasi. Hasil pendugaan parameter terhadap nilai karakteristik Marshall yang diuji menggunakan alat uji analog (pengamatan langsung dan perekaman video) dan digital dapat dianalisa sebagai berikut.

1. Pendugaan Parameter Stabilitas

Untuk analisa pendugaan hasil pengujian terhadap nilai stabilitas, pertama harus mencari nilai rata-rata hasil perhitungan stabilitas pada kedua alat, sehingga didapatkan nilai rata-rata sebesar 1490,49 kg pada alat uji analog (Pengamatan langsung), 1482,91 kg pada uji analog (perekaman video) dan sebesar 1508,36 kg pada alat uji full digital. dengan standart deviasi rata-rata alat uji analog (Pengamatan langsung) sebesar 95,26, uji analog (perekaman video) sebesar 87,93 dan sebesar 72,17 pada alat uji full digital. Kemudian mencari nilai f yang diperoleh dari tabel f yaitu sebesar 3,89 pada taraf kesalahan 5%. Untuk perhitungan penentuan nilai

pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji analog dan alat uji full digital dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Untuk alat analog (Pengamatan langsung)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 1490,49 - (3,89 \times 95,26) < \mu < 1490,49 + (3,89 \times 95,26) \\ &= 1119,91 < \mu < 1861,07 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai stabilitas pada alat uji analog (Pengamatan langsung) adalah 1119,91 – 1861,07.

- b. Untuk alat analog (Bantuan perekaman video)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 1482,91 - (3,89 \times 87,93) < \mu < 1482,91 + (3,89 \times 87,93) \\ &= 1140,85 < \mu < 1824,97 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai stabilitas pada alat uji analog (Bantuan perekaman video) adalah 1140,85 – 1824,97.

- c. Untuk alat digital

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 1508,36 - (3,89 \times 72,17) < \mu < 1508,36 + (3,89 \times 72,17) \\ &= 1227,57 < \mu < 1789,15 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai stabilitas pada alat uji digital adalah 1227,57 - 1789,15.

2. Pendugaan Parameter *Flow*

Untuk analisa pendugaan hasil pengujian terhadap nilai *flow*, pertama harus mencari nilai rata-rata hasil perhitungan *flow* pada kedua alat, sehingga didapatkan nilai rata-rata sebesar 4,48 mm pada alat uji analog (Pengamatan langsung), 4,44 mm pada uji analog (perekaman video) dan sebesar 4,42 mm pada alat uji full digital. dengan standart deviasi rata-rata alat uji analog (Pengamatan langsung) sebesar 0,21,

uji analog (perekaman video) sebesar 0,22 dan sebesar 0,23 pada alat uji full digital. Kemudian mencari nilai f yang diperoleh dari tabel f yaitu sebesar 3,89 pada taraf kesalahan 5%. Untuk perhitungan penentuan nilai pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji analog dan alat uji full digital dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Untuk alat analog (Pengamatan langsung)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 4,48 - (3,89 \times 0,21) < \mu < 4,48 + (3,89 \times 0,21) \\ &= 3,66 < \mu < 5,29 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai *flow* pada alat uji analog (Pengamatan langsung) adalah 3,66 – 5,29.

- b. Untuk alat analog (Bantuan perekaman video)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 4,44 - (3,89 \times 0,22) < \mu < 4,44 + (3,89 \times 0,22) \\ &= 3,57 < \mu < 5,31 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai *flow* pada alat uji analog (Bantuan perekaman video) adalah 3,57 – 5,31.

- c. Untuk alat digital

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f \alpha / 2 \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 4,42 - (3,89 \times 0,23) < \mu < 4,42 + (3,89 \times 0,23) \\ &= 3,54 < \mu < 5,31 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai *flow* pada alat uji digital adalah 3,54 – 5,31.

3. Pendugaan Parameter MQ

Untuk analisa pendugaan hasil pengujian terhadap nilai MQ , pertama harus mencari nilai rata-rata hasil perhitungan MQ pada kedua alat, sehingga didapatkan

nilai rata-rata sebesar 335,55 kg/mm pada alat uji analog (Pengamatan langsung), 336,48 kg/mm pada uji analog (perekaman video) dan sebesar 342,93 kg/mm pada alat uji full digital. Dengan standart deviasi rata-rata alat uji analog (Pengamatan langsung) sebesar 35,34, uji analog (perekaman video) sebesar 34,71 dan sebesar 27,64 pada alat uji full digital. Kemudian mencari nilai f yang diperoleh dari tabel f yaitu sebesar 3,89 pada taraf kesalahan 5%. Untuk perhitungan penentuan nilai pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji analog dan alat uji full digital dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Untuk alat analog (Pengamatan langsung)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 335,55 - (3,89 \times 21,44) < \mu < 335,55 + (3,89 \times 21,44) \\ &= 198,09 < \mu < 473,00 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai MQ pada alat uji analog (Pengamatan langsung) adalah 198,09 – 473,00.

- b. Untuk alat analog (Bantuan perekaman video)

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 336,48 - (3,89 \times 34,71) < \mu < 336,48 + (3,89 \times 34,71) \\ &= 201,48 < \mu < 471,49 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai MQ pada alat uji analog (Bantuan perekaman video) adalah 201,48 – 471,49.

- c. Untuk alat digital

$$\begin{aligned} &= \bar{X} - f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + f_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 342,93 - (3,89 \times 27,64) < \mu < 342,93 + (3,89 \times 27,64) \\ &= 235,39 < \mu < 450,46 \end{aligned}$$

Jadi pendugaan hasil pengujian untuk nilai MQ pada alat uji digital adalah 235,39 – 450,46.

Sehingga dari perhitungan pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall diatas didapatkan data yang ditunjukkan dalam tabel 4.10 dan untuk detail perhitungannya dapat dilihat di lampiran D.

Tabel 4.12 Analisa Pendugaan Hasil Pengujian

No	Karakteristik Marshall	Uji Analog Langsung		Uji Analog Perekaman Video		Alat Uji Digital		F kritis	Pendugaan Parameter					
		Rata-rata	Deviasi	Rata-rata	Deviasi	Rata-rata	Deviasi		Uji Analog Langsung	Uji Analog Perekaman Video	Uji Analog Digital			
1	Stabilitas	1490,49	95,26	1482,91	87,93	1508,36	72,18	3,89	1119,91 - 1861,07	1140,85 - 1824,97	1227,57 - 1789,15			
2	Flow	4,48	0,21	4,44	0,22	4,42	0,23	3,89	3,66 - 5,29	3,57 - 5,31	3,54 - 5,31			
3	MQ	335,55	35,34	336,48	34,71	342,93	27,64	3,89	198,09 - 473,00	201,48 - 471,49	235,39 - 450,46			

Berdasarkan tabel diatas nilai pendugaan hasil pengujian pada setiap karakteristik Marshall sudah didapatkan melalui analisa data dari hasil pengujian sebanyak 14 buah benda uji. Dapat diketahui bahwa secara umum selisih nilai batas atas dan batas bawah nilai pendugaan hasil pengujian pada alat uji analog lebih kecil daripada alat uji digital. Pendugaan nilai ketelitian hasil pengujian menggunakan alat uji analog (Pengamatan langsung) pada nilai stabilitas = $\pm 741,16$ kg, *Flow* = $\pm 1,63$ mm dan *MQ* = $\pm 274,91$ kg/mm. Untuk pengujian menggunakan alat uji analog (perekaman video) pada nilai stabilitas = $\pm 684,12$ kg, *Flow* = $\pm 1,73$ mm dan *MQ* = $\pm 270,01$ kg/mm. Sedangkan pendugaan hasil pengujian menggunakan alat uji digital pada nilai stabilitas = $\pm 561,58$ kg, *Flow* = $\pm 1,76$ mm dan *MQ* = $\pm 215,07$ kg/mm.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisa menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada hasil pengujian karakteristik Marshall yang di uji menggunakan alat uji analog dan digital. Namun pengujian digital menunjukan hasil yang lebih seragam atau dengan kata lain deviasi standar kecil dibandingkan dengan hasil alat uji analog.
2. Untuk pendugaan hasil pengujian karakteristik Marshall didapatkan nilai sebagai berikut :
 - a. Untuk alat uji analog pengamatan langsung menghasilkan stabilitas (kg) = 1119,91–1861,07; *Flow* (mm) = 3,66–5,29; *MQ* (kg/mm) = 198,09–473,00.
 - b. Untuk alat uji analog pengamatan video menghasilkan stabilitas (kg) = 1140,85–1824,97; *Flow* (mm) = 3,57–5,31; *MQ* (kg/mm) = 201,48–471,49.
 - c. Untuk alat uji digital menghasilkan stabilitas (kg) = 1227,57–1789,15; *Flow* (mm) = 3,54–5,31; *MQ* (kg/mm) = 235,39–450,46.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, Akhmad Taufik dkk. 2014. *Characteristics Of Marshall On Ac-Bc Use The Analog And Digital Test Equipment*. Prosiding Simposium FSTPT 17 Universitas Jember, Jember
- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot mix Type*. Lexington, Kentucky, USA: Annual Series No. 2.
- DPU Bina Marga. 1999. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Penerbit: PT. Mediatama Saptakarya.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesian(MKJI)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Furqon. 2011. *Statistika Terapan untuk Penelitian*. Bandung : Alfabeta
- Putri, Ajeng Miranti 2010. *Laboratory On The Durability Characteristics (Moisture Damage Evaluation) Of Asphalt Concrete Wearing Couse Utilizing Bantak And Clereng As Aggregate (Using Marshall Methods)*. Yogyakarta. Journal of the Easten Asia Society for Transportation Studies, Vol. 8. Universitas Gadjah Mada
- Setiawan A dan Rahmatang R. 2011. *Rekayasa dan Manajemen Transportasi*. Volume I, No. 2, Juli 2011.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Sukirman, S. 1999. *Dasar-dasar perencanaan geometrik jalan*. Bandung: Nova.
- Zulfikar, Grandis dkk. 2014. *Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran Ac-Wc Pada Pengujian Marshall Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog*. Prosiding Simposium FSTPT 17 Universitas Jember, Jember.