

PERBANDINGAN NILAI STABILITAS DAN FLOW CAMPURAN AC-WC PADA PENGUJIAN MARSHALL MENGUNAKAN ALAT UJI DIGITAL DAN ANALOG

Grandis Zulfikar

Mahasiswa S-1 Teknik Sipil
Fak. Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121
grandizulfikar@yahoo.co.id

Sonya Sulistyono

Jurusan Teknik Sipil
Fak. Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121
Telp./Fax. +62 331 322415
sonya.sulistyono@yahoo.co.id

Nunung Nuring Hayati

Jurusan Teknik Sipil
Fak. Teknik Universitas Jember
Jl. Kalimantan 37 Jember 68121
Telp./Fax. +62 331 322415
nunung.nuring@yahoo.co.id

Abstract

Test characteristics of Marshall stability and flow generating value. Marshall test can use two types of tools, test equipment digital and analog test equipment. Digital test equipment in use and reading of data using a computer system. While analog test equipment in use and reading of data processing manually. This study used a mixture of AC-WC with optimum bitumen content of 6.5% were obtained from the results of the preliminary test, then made 28 test specimens (2 x 14). Marshall testing were performed using the Marshall test equipment. This study was guided by the Indonesian National Standard (SNI) performance testing materials, mixing aggregate with asphalt, and the Marshall test. Based on the results of volumetric analysis and testing of Marshall characteristic analysis showed an average difference of two of the digital and analog test equipment there is no real difference. The average value of the results of the analysis and testing of the Marshall characteristics using a digital test equipment was obtained: density (kg / m^3) = 23,6; VMA (%) = 18,69; VIM (%) = 4,80; VFA (%) = 74,37; stability (kg) = 2165,00; flow (mm) = 4,11; MQ (kg / mm) = 574,48. Analog test equipment is obtained: density (kg / m^3) = 23,6; VMA (%) = 18,76; VIM (%) = 4,88; VFA (%) = 74,01; stability (kg) = 2000,67; flow (mm) = 3,60; MQ (kg / mm) = 585,73.

Keywords: *Characteristics Marshall, Mixed AC-WC, Marshall test equipment digital and analog.*

Abstrak

Uji karakteristik Marshall menghasilkan nilai stabilitas dan *flow*. Uji Marshall dapat menggunakan dua jenis alat, alat uji digital dan alat uji analog. Alat uji digital dalam pengoprasian dan pembacaan data menggunakan sistem komputer. Sedangkan alat uji analog dalam pengoprasian serta pembacaan data dilakukan secara manual. Penelitian ini menggunakan campuran AC-WC dengan kadar aspal optimum 6,5% yang didapatkan dari hasil uji pendahuluan, selanjutnya dibuat 28 benda uji (2 x 14). Pengujian Marshall yang dilakukan menggunakan alat uji Marshall. Penelitian ini berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam pengujian material, pencampuran agregat dengan aspal, dan pengujian Marshall. Berdasar dari hasil analisa volumetrik dan pengujian karakteristik Marshall didapatkan hasil analisa perbedaan dua rata-rata dari alat uji digital dan analog tidak terdapat perbedaan secara nyata. Nilai rata-rata hasil analisa dan pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji digital diperoleh: *density* (kg/m^3) = 23,6; VMA (%) = 18,69; VIM (%) = 4,80; VFA (%) = 74,37; stabilitas (kg) = 2165,00; *flow* (mm) = 4,11; MQ (kg/mm) = 574,48. Alat uji analog diperoleh: *density* (kg/m^3) = 23,6; VMA (%) = 18,76; VIM (%) = 4,88; VFA (%) = 74,01; stabilitas (kg) = 2000,67; *flow* (mm) = 3,60; MQ (kg/mm) = 585,73.

Kata Kunci: *Karakteristik Marshall, Campuran AC-WC, alat uji Marshall digital dan analog.*

PENDAHULUAN

Pada pengujian Marshall akan didapatkan data-data karakteristik Marshall yaitu stabilitas, *flow*, dan MQ. Sebelum pengujian Marshall dilakukan analisa volumetrik benda uji seperti *density*, VMA, VIM, dan VFA. Analisa volumetrik benda uji bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian Marshall pada alat uji digital dan analog dengan benda uji yang mempunyai volumetrik hampir sama. Pada pengujian Marshall Alat uji Marshall analog banyak digunakan di laboratorium-laboratorium di Indonesia. Alat uji analog dalam

pengoprasian dan pembacaan dial nilai stabilitas dan *flow* hasil pengujian, masih menggunakan cara manual dari penglihatan manusia dan dibantu dengan alat perekam video. Kekurangan dari alat uji analog ini yaitu kemungkinan terjadi adanya kesalahan yang diakibatkan oleh faktor manusia seperti kondisi psikologis, kelelahan, dan kelalaian dari operator, yang dapat mempengaruhi tingkat akurasi data yang dihasilkan.

Alat uji Marshall kini sudah berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Salah satunya alat uji Marshall digital yang pengoprasian serta pembacaan datanya menggunakan perangkat lunak pada sistem komputer. Perangkat lunak pada sistem komputer tersebut digunakan untuk menginput, mengontrol, melaksanakan dan mengolah data hasil pengujian Marshall secara digital. maka keuntungan dari alat uji alaog ini adalah efisiensi waktu dan tenaga operator sehingga dapat mengurangi kesalahan yang diakibatkan oleh faktor manusia.

Penggunaan alat uji Marshall digital dan analog akan memberikan kecepatan dan akurasi data sesuai dengan kemampuan alat-alat tersebut. Untuk itu perlu dilakukan komparasi hasil pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji Marshall digital dan analog. Sebelum melakukan pengujian Marshall menggunakan alat uji digital dan analog, perlu dilakukan analisa volumetrik beton aspal yang bertujuan untuk memastikan nilai beton aspal yang akan di uji menggunakan alat uji Marshall digital dan analog memiliki nilai yang hampir sama. Selanjutnya jika nilai volumetrik beton aspal tidak memiliki perbedaan yang signifikan dapat dilanjutkan dengan pengujian karateristik Marshall. Pengujian karakteristik Marshall yang dilakukan adalah membandingkan hasil pengujian alat uji digital dan analog, apakah ada perbedaan secara signifikan atau tidak. Penelitian dilakukan dengan melaksanakan pengujian Marshall pada campuran aspal panas *Asphalt Concrete - Wear Course (AC-WC)*.

METODE PENELITIAN

Lapisan *Asphalt concrete-Wear Course (AC-WC)*

Lapisan AC-WC atau lapis aus adalah lapis perkerasan yang berhubungan dengan langsung dengan roda kendaraan lapisan ini juga kedap terhadap air meski berhubungan langsung dengan cuaca lapisan ini tahan terhadap cuaca. Secara umum lapisan AC-WC tersusun dari agregat kasar, agregat halus dan filler.

Perencanaan campuran aspal perlu dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran yang sesuai serta dapat memenuhi sifat karateristik Marshall. Ada tujuh Karakteristik Marshall yang harus dimiliki oleh beton aspal yaitu stabilitas, keawetan, durabilitas, fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan, ketahan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan. (Sukirman, 2003). Persyaratan campuran AC-WC ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Persyaratan Gradasi AC-WC

No	Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos
	ASTM	(mm)	AC - WC
1	1 1/2"	37,5	100
2	1"	25	100
3	3/4"	19	100
4	1/2"	12,5	90 - 100
5	3/8"	9,5	Maks. 90
6	No. 8	1,36	28 - 58
7	No. 200	0,075	4 - 10
8	Daerah Larangan		
9	No. 8	1,36	39,1
10	No. 16	1,18	25,6 - 31,6
11	No. 30	0,6	19,1 - 23,1
12	No. 50	0,3	15,5

*

Tabel 2. Persyaratan Sifat AC-WC

No	Sifat-sifat Campuran	Laston WC	
		min	max
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	65
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 : pedoman teknik Bina Marga 1999

**sumber : rancangan spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan, divisi VI perkerasan beraspal Dep. PU 2007

Penentuan Jumlah Sample

Berdasarkan pernyataan (Roscoe 1975) untuk penelitian eksperimental sederhana dengan kontrol eksperimen yang ketat, penelitian yang sukses adalah mungkin dengan ukuran sampel kecil antara 10 sampai dengan 20. Dengan menggunakan tingkat kesalahan sebesar 5% maka ditetapkan populasi sebanyak 14 buah. Untuk perhitungannya ditunjukkan dalam rumus Slovin (dalam Riduwan, 2005 :65) sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{(1+Ne^2)} = \frac{14}{(1+0.05^2)} = 13,99 \text{ buah} \approx 14 \text{ buah}$$

Pengujian Marshall

a. Analisa Volumetrik

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

b. Pengujian stabilitas dan *flow* menggunakan alat uji

Alat uji Marshall adalah alat pengujian campuran aspal yang sudah dipadatkan (benda uji) untuk mengetahui nilai stabilitas dan *flow*. Alat uji Marshall ini dilengkapi dengan *proving ring* (cincin pengujian) berkapasitas 22,2 KN atau setara 5000lbf yang berfungsi untuk menguji stabilitas dan *flowmeter* untuk mengukur kelelehan 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. (Silvia Sukirman, 2003).



Gambar 1. Alat Uji Digital



Gambar 2. Alat Uji Analog

Untuk mengolah dan menganalisis data hasil pengujian stabilitas dan *flow* digunakan distribusi t. Fungsi dari distribusi t adalah untuk menguji hipotesis dan membandingkan perbedaan dari dua populasi. Untuk pengujian uji T ditunjukkan sebagai berikut:

Pengujian Perbedaan Dua Rata-rata

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol sehingga diketahui apakah ada perbedaan yang signifikan atau tidak. Pengujian hipotesis dapat dilakukan dengan langkah (Supranto, 2009) berikut:

1. Mencari nilai rata-rata sampel yang diteliti

$$X = \frac{1}{n} \sum Xi = \frac{1}{n} (X1 + X2 + \dots Xn) \dots\dots\dots (1,1)$$

2. Menghitung nilai standart deviasi

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

$$S_x = \sqrt{\frac{s}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots (1,3)$$

3. Merumuskan hipotesis

H0 : $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ($\mu_1 = \mu_2$), maka hipotesis H0 diterima

H1 : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ ($\mu_1 \neq \mu_2$), maka hipotesis H1 diterima

4. Pengujian hipotesis dengan Perbedaan Dua Rata-rara ($n \leq 30$)

$$t_{\alpha/2} = \frac{X - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \dots\dots\dots (1,4)$$

5. Jika nilai $t_{hitung} \geq t_{tabel}$ maka H0 ditolak, artinya ada perbedaan yang signifikan dari hasil pengujian menggunakan alat uji digital dan alat uji analog. Jika $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ maka H0 diterima, artinya tidak ada perbedaan yang signifikan dari hasil pengujian menggunakan alat uji digital dengan alat uji analog.

Hipotesa

Tidak ada perbedaan secara signifikan pada analisa volumetrik benda uji dan hasil pengujian stabilitas dan *flow* menggunakan alat uji digital dan analog ($\mu_1 = \mu_2$) pada campuran *Asphalt Concrete - Wear Course* (AC-WC).

Keterangan :

μ_1 : Rata-rata hasil pengujian menggunakan alat uji digital

μ_2 : Rata-rata hasil pengujian menggunakan alat uji analog

Tahapan Pelaksanaan penelitian

1. Uji pendahuluan: pengujian bahan (agregat halus, kasar, *filler* dan aspal pen 60/70), perencanaan komposisi campuran, pembuatan benda uji, pengujian Marshall, penentuan KAO sesuai SNI.
2. Penentuan jumlah kebutuhan sampel untuk alat uji digital dan analog.
3. Pembuatan benda uji sesuai KAO dan kebutuhan sampel.
4. Analisa volumetrik benda uji.
5. Pengujian stabilitas dan *flow* menggunakan alat uji.
6. Analisa Perbedaan Dua Rata-rata (*independent sample test*).
7. Kesimpulan dan saran.

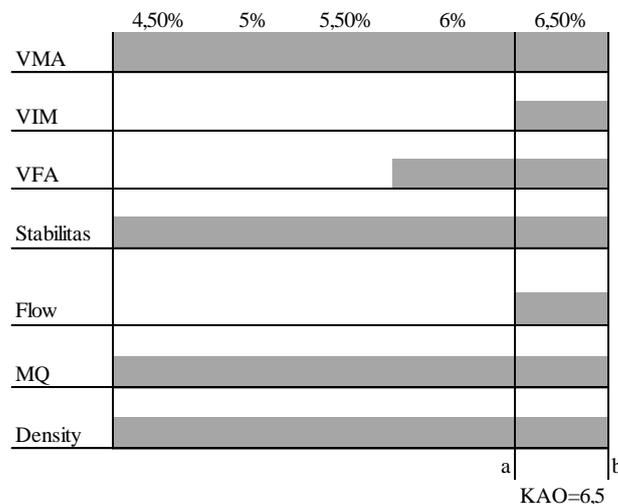
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan guna mengetahui kelayakan agregat dan nilai kadar aspal optimum (KAO). Langkah pertama yang harus dilakukan untuk mendapatkan KAO adalah dengan menguji kelayakan bahan campuran beton aspal yaitu agregat halus, agregat kasar, *filler* dan aspal pen 60/70. Kemudian merencanakan proporsi agregat campuran dan kadar aspal ideal sesuai campuran AC-WC sebanyak 15 benda uji dengan 5 kadar aspal yaitu 4,5 %; 5 %; 5,5 %; 6 %; 6,5 %. Setelah dilakukan pengujian Marshall didapatkan nilai kadar aspal optimum 6,5%. Perhitungan KAO dapat dilihat pada tabel dan gambar seperti berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Marshall Pada Uji Pendahuluan

% aspal	Density	VMA	VIM	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
4,5	2,28	19,92	10,69	46,65	1950,90	2,30	849,45
5	2,26	20,57	10,83	47,44	1282,02	2,46	520,44
5,5	2,32	18,64	8,07	57,79	1086,93	2,65	410,16
6	2,34	18,99	6,55	65,80	1560,72	2,89	540,04
6,5	2,37	18,52	4,96	73,55	1588,59	3,02	525,44
Spesifikasi	-	min 15	3.5 - 5.5	min 65	min 800	min 3	min 250



Gambar 3. Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC

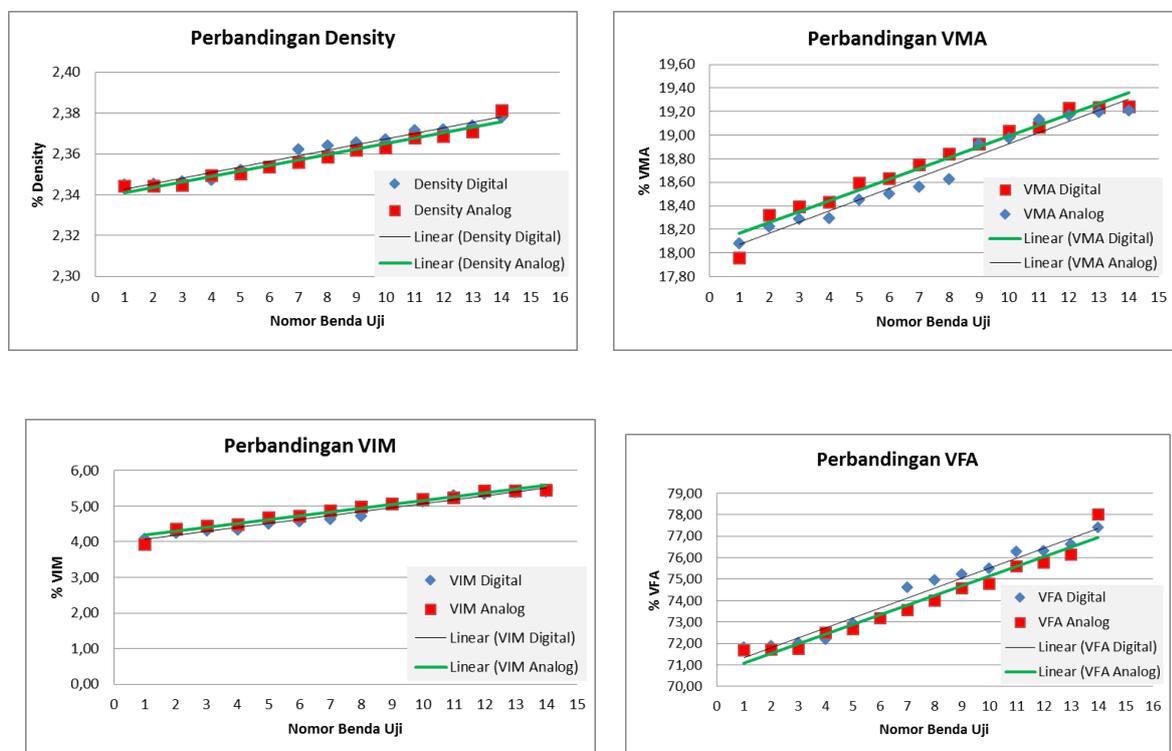
Jumlah Sampel

Selama pengujian, penentuan jumlah sampel benda uji yang di butuhkan adalah 28 buah. Berdasarkan biaya, waktu dan tenaga yang tersedia (Singarimbun dan effendy, 1989) dan dari perhitungan penentuan jumlah sampel menggunakan tingkat kesalahan sebesar 5%. Maka rincian jumlah sampel benda uji sebagai berikut:

8. Pengujian Marshall dengan alat uji digital (VJT cs-MARS) = 14 buah.
9. Pengujian Marshall dengan alat uji analog (DBA BTE-500) = 14 buah.

Hasil Pengujian Volumetrik Beton Aspal Campuran AC-WC

Volumetrik merupakan sifat-sifat campuran di dalam beton aspal padat, yaitu *Density*, VMA, VIM, dan VFA. Pengujian volumetrik bertujuan untuk memastikan nilai beton aspal yang akan di uji menggunakan alat uji Marshall digital dan analog memiliki nilai yang sama. Dari hasil pengujian sebanyak empat belas benda uji untuk setiap alat uji Marshall digital dan analog didapatkan nilai perbandingan volumetrik seperti pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Perbandingan *Density*, VMA, VIM dan VFA

Dari gambar diatas rata-rata nilai *density* pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital yaitu sebesar 2,36 kg/m³, sama dengan rata-rata nilai *density* pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji analog yaitu sebesar 2.36 kg/m³. Maka tidak ada selisih dari rata-rata nilai *density* pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital dan analog. Jadi kerapatan pada campuran beton aspal padat sama baiknya pada kedua alat sehingga dapat memberikan gaya gesek pada roda kendaraan agar tidak tergelincir.

Rata-rata nilai VMA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital yaitu sebesar 18,69 %, rata-rata pada alat uji analog lebih tinggi yaitu 18,76 %. Selisih rata-rata nilai VMA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih rendah 0,37 % dari alat uji analog. Jadi rongga pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat yang akan di uji menggunakan alat uji analog lebih banyak dari pada alat uji digital.

Rata-rata nilai VIM pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital yaitu sebesar 4,80 %, rata-rata pada alat uji analog lebih tinggi yaitu 4,88 %. Selisih rata-rata nilai VIM pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih rendah 1,67 % dari alat uji analog. Jadi benda uji yang akan diuji menggunakan alat uji analog akan mengalami proses oksidasi dan penuaan aspal yang lebih cepat serta penurunan durabilitas beton aspal lebih besar dari pada beton aspal yang akan diuji dengan alat uji digital.

Rata-rata nilai VFA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital yaitu sebesar 74,37 % rata-rata pada alat uji analog lebih rendah yaitu 74,01 %. Selisih rata-rata nilai VFA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih tinggi 0,48 % dari alat uji analog. Sehingga aspal yang menyelimuti butir agregat didalam beton aspal padat yang akan diuji menggunakan alat uji analog lebih rendah. Maka kemampuan menahan keausan dari pengaruh cuaca dan iklim pada beton aspal yang akan diuji menggunakan alat digital lebih baik.

Uji Perbedaan Dua Rata-Rata Volumetrik Beton Aspal Campuran AC-WC

Pengujian perbedaan dua rata-rata dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan secara signifikan atau tidak dari hasil pengujian volumetrik benda uji pada alat uji digital dan analog. Hasil pengujian hipotesis menggunakan *SPSS (independent sample test)* ditunjukkan dalam tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Perbedaan Dua Rata-rata Volumetrik

No	Karakteristik Marshall	Jumlah Benda Uji	Rata-rata		Alfa	Sig	T hitung	T tabel	Ket
			Alat Uji Analog	Alat Uji Digital					
1	Density	14	2,36	2,36	0,05	0,636	0,805	2,0555	terima
2	VMA	14	18,76	18,69	0,05	0,640	0,480	2,0555	terima
3	VIM	14	4,88	4,80	0,05	0,634	0,483	2,0555	terima
4	VFA	14	74,01	74,37	0,05	0,648	0,481	2,0555	terima

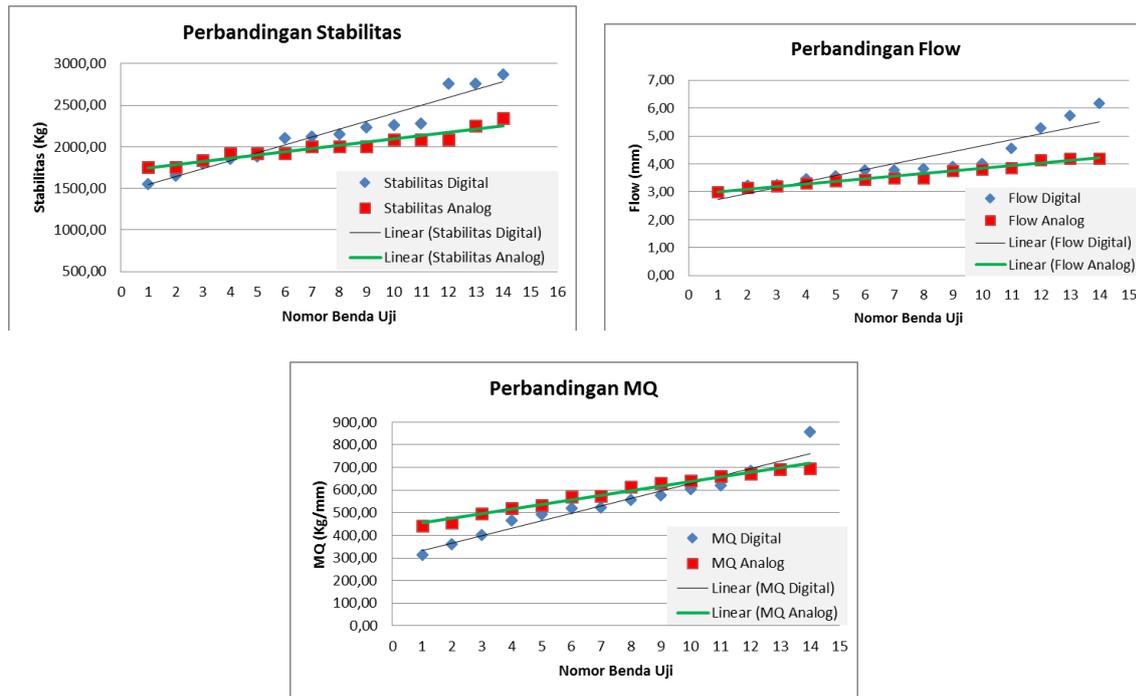
Dari hasil analisa 14 pengujian dengan taraf kesalahan 5 % menunjukkan nilai t_{hitung} lebih kecil dari t_{tabel} (2,0555) pada setiap hasil pengujian.

Untuk kaidah keputusannya adalah :

Jika $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ maka tidak ada perbedaan secara signifikan, jika $t_{hitung} \geq t_{tabel}$ maka ada perbedaan secara signifikan. Dari hasil perhitungan diperoleh data $t_{hitung} \leq t_{tabel}$. Jadi tidak terdapat perbedaan rata-rata nilai hasil pengujian secara signifikan pada hasil pengujian volumetrik benda uji pada alat uji digital dan analog. Sehingga dapat dilanjutkan dengan analisa pengujian karakteristik Marshall untuk mengetahui perbandingan rata-rata nilai Stabilitas, Flow, dan MQ.

Perbandingan Nilai Stabilitas, Flow, dan MQ Menggunakan Alat Uji Analog dan Digital

Sifat campuran yang harus di miliki dalam beton aspal pada karakteristik Marshall, yaitu stabilitas, flow, dan MQ. Dari hasil pengujian sebanyak empat belas benda uji menggunakan alat uji digital dan analog didapatkan nilai perbandingan nilai stabilitas, flow, dan MQ seperti pada gambar di bawah ini, pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Stabilitas, Flow, MQ dan Density Alat Uji Digital dan Analog

Rata-rata nilai stabilitas menggunakan alat uji digital sebesar 2165,00 kg, Sedangkan rata-rata nilai stabilitas menggunakan alat uji analog lebih rendah yaitu 2000,67 kg. Selisih rata-rata nilai stabilitas pada alat uji digital lebih tinggi 7,59 % dari alat uji analog. Rata-rata nilai *flow* menggunakan alat uji digital sebesar 4,11 mm, lebih tinggi dibandingkan menggunakan alat uji analog yaitu 3,60 mm. Selisih rata-rata nilai *flow* pada alat uji digital lebih tinggi 12,41 % dari alat uji analog. Sehingga kelelahan plastis akibat deformasi dalam beton aspal padat dan kemampuan beton aspal untuk menerima repetisi beban tanpa terjadinya retak pada alat uji analog lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan alat uji digital. Rata-rata nilai MQ menggunakan alat uji digital diperoleh sebesar 547,48 kg/mm. Menggunakan alat uji analog rata-rata nilai MQ lebih besar yaitu 585,73 kg/mm. Selisih rata-rata nilai MQ pada alat uji digital lebih rendah 6,99 % dari alat uji analog. Jadi kekakuan dalam beton aspal padat yang telah di uji menggunakan alat uji analog lebih tinggi dibandingkan menggunakan alat uji digital.

Uji Perbedaan Dua Rata-Rata Nilai Karakteristik Marshall Pada Alat Uji Digital dan Analog

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan secara signifikan atau tidak pada hasil pengujian karakteristik Marshall menggunakan alat uji digital dan analog. Hasil pengujian hipotesis menggunakan SPSS (*independent sample test*) ditunjukkan dalam tabel 7.

Tabel 7. Uji Perbedaan Dua Rata-Rata Nilai Karakteristik Marshall

No	Karakteristik Marshall	Jumlah Benda Uji	Rata-rata		Alfa	Sig	T hitung	T tabel	Ket
			Alat Uji Analog	Alat Uji Digital					
1	Stabilitas	14	2000,67	2165,00	0,05	0,434	1,389	2,0555	terima
2	Flow	14	3,60	4,11	0,05	0,004	1,820	2,0555	terima
3	MQ	14	585,73	547,48	0,05	0,409	0,861	2,0555	terima

Dari hasil analisa 14 pengujian dengan taraf kesalahan 5 % menunjukkan nilai t_{hitung} lebih kecil dari t_{tabel} (2,0555) pada setiap hasil pengujian.

Untuk kaidah keputusannya adalah :

Jika $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ maka tidak ada perbedaan secara signifikan, jika $t_{hitung} \geq t_{tabel}$ maka ada perbedaan secara signifikan. Dari hasil perhitungan diperoleh data $t_{hitung} \leq t_{tabel}$. Jadi tidak terdapat perbedaan secara signifikan dari rata-rata hasil pengujian pada hasil pengujian menggunakan alat uji digital dan analog.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa menunjukkan bahwa, tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada hasil pengujian volumetrik benda uji dan karakteristik Marshall yang di uji dengan alat uji analog dan digital. Karena dari hasil perhitungan uji perbedaan dua rata-rata diperoleh data $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ pada pengujian volumetrik dan karakteristik Marshall.

Dari analisa volumetrik tidak ada selisih dari rata-rata nilai *density* pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital dan analog. Selisih rata-rata nilai VMA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih rendah 0,37 % dari alat uji analog. Selisih rata-rata nilai VIM pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih rendah 1,67 % dari alat uji analog. Selisih rata-rata nilai VFA pada benda uji yang akan diuji dengan alat uji digital lebih tinggi 0,48 % dari alat uji analog.

Dari pengujian karakteristik marshall Selisih rata-rata nilai stabilitas pada alat uji digital lebih tinggi 7,59 % dari alat uji analog. Selisih rata-rata nilai *flow* pada alat uji digital lebih tinggi 12,41 % dari alat uji analog. Selisih rata-rata nilai MQ pada alat uji digital lebih rendah 6,99 % dari alat uji analog.

Namun demikian perbedaan atau selisih dari nilai rata-rata analisa volumetrik benda uji dan pengujian Marshall menggunakan alat uji digital dan analog, tidak berbede signifikan. Ditinjau dari hasil perhitungan uji perbedaan dua rata-rata diperoleh data $t_{hitung} \leq t_{tabel}$ dari rata-rata nilai *density*, VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Jadi untuk hasil analisa volumetrik dan pengujian karakteristik Marshall didapatkan nilai rata-rata sebagai berikut:

Alat uji digital diperoleh: *density* (kg/m³) = 23,6; VMA (%) = 18,69; VIM (%) = 4,80; VFA (%) = 74,37; stabilitas (kg) = 2165,00; *flow* (mm) = 4,11; MQ (kg/mm) = 574,48.

Alat uji analog diperoleh: *density* (kg/m³) = 23,6; VMA (%) = 18,76; VIM (%) = 4,88; VFA (%) = 74,01; stabilitas (kg) = 2000,67; *flow* (mm) = 3,60; MQ (kg/mm) = 585,73.

Saran

Pada penelitian ini mengevaluasi hasil volumetrik beton aspal apakah memiliki nilai yang hampir sama antara beton aspal yang akan di uji menggunakan alat uji Marshall digital dan analog, sebelum dilakukan pengujian karakteristik Marshall. Pengujian karakteristik Marshall yang dilakukan adalah pembacaan dial stabilitas dan *flow* dengan menggunakan alat uji digital dan alat uji analog. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan metode yang sama, tetapi lama proses penekanan dan kecepatan penekanan benda uji harus diperhatikan serta diatur sama antara alat uji digital dengan alat uji analog.

Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dalam evaluasi pembacaan dial stabilitas dan *flow* dengan alat uji digital (komputer), alat uji analog dengan penglihatan langsung dan

dengan bantuan alat perekam video serta waktu yang dibutuhkan untuk sekali pengujian untuk kedua alat uji tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- Departemen Pekerjaan Umum. 2007. *Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan Jembatan*. Divisi VI Perkerasan Beraspal. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1991. *Tata Cara Survai Kondisi Jalan Kota*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Jalan Kota.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesian (MKJI)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1990. *Tata Cara Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan kota*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Jalan Kota.
- DPU Bina Marga. 1999. *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Penerbit: PT. Mediatama Saptakarya.
- Pangihutan, H. 2008. *Pemodelan Hubungan Investasi Prasarana Jalan Dengan Pertumbuhan Ekonomi Nasional Dan Regional*. Jakarta: Kolokium Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Riduwan dan Sunarto. 2013. *Pengantar Statistika Untuk Penelitian: Pendidikan, Sosial, Komunikasi, Ekonomi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- Roscoe di kutip dari Uma Sekaran. 2006. *Metode Penelitian Bisnis*. Jakarta: Salemba Empat.
- Sukirman, S. 1999. *Dasar-dasar perencanaan geometrik jalan*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Supranto, J. 2009. *Statistik Teori dan Aplikasi Jilid 7*. Jakarta: Erlangga.