

# EFEK VARIASI KADAR BITUMEN TERHADAP KINERJA MARSHALL LABORATORIUM DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT BANTAK

(Studi kinerja agregat Bantak dengan menggunakan emulsi, modifikasi polymer, AC 60/70 dan Shell (Singapore) pada lalu lintas berat)

**Faqih Ma'arif**

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY

faqih\_maarif07@yahoo.com

## **ABSTRACT**

*This research aims to find out the characteristics of a mixture of asphalt concrete with marshall testing using bantak local materials as agregate. The research method is experiment laboratory Which includes testing in aggregate, bituminous tests and marshall test. This study consist of 5 varians with 5%; 5,5%; 6%; 6,5% and 7% in bituminous level. Three specimen made to the scheme Marshall testing. The compliance of research was done in Laboratory materials, department of civil engineering and planning, faculty of engineering, Yogyakarta State University. The phase of testing made up of bitumen test, Bantak local materials test, filler test, and Marshall test. The test result showed that the coarse agregate Bantak local materials has good performance for flexible pavement materials. Void minerals agregate, void filled bituminous, void in mix, stability, and optimum flow were the test result 16.03%; 65.57%, 5.2%; 1397.45kg and 4.295mm respectively.*

**Keyword:** Bantak, Marshall, bituminous

## **PENDAHULUAN**

Gunung merapi terletak di perbatasan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Provinsi Jawa Tengah. Menurut Associate Profesor Teknik Geofisika ITB, Teuku Abdullah Sanny mengatakan siklus meletusnya gunung merapi awalnya rutin selama 4 tahunan. Hal itu bisa dilihat dari dokumen bangsa Belanda sejak pertama kali gunung api itu tercatat meletus pada 1554. Akan tetapi, siklus ini sekarang turun menjadi 3 tahunan. Letusan gunung merapi menimbulkan dampak negatif dan positif bagi masyarakat sekitar gunung merapi, salah satu dampak positifnya adalah berjuta meter kubik material vulkanik hasil letusan gunung merapi yang terdiri dari pasir, kerikil, dan batuan yang bisa dimanfaatkan untuk aplikasi bahan bangunan. Salah satunya adalah agregat bantak (istilah masyarakat setempat). Agregat bantak merupakan material berpori dan memiliki tingkat kekerasan yang rendah. Bantak masih sangat minim digunakan di daerah asalnya, walaupun ketersediaannya sangat banyak. Sekitar 70% dari material Gunung Merapi terdiri dari agregat bantak, sehingga perlu adanya penelitian untuk pemanfaatan agregat bantak tersebut, agar material sebanyak itu tidak terbuang dengan begitu saja.

Selanjutnya dalam rangka upaya pemanfaatan material vulkanik letusan gunung merapi yaitu agregat bantak serta mendukung kegiatan pembangunan infrastruktur khususnya jalan, peningkatan ekonomi masyarakat serta penanganan masalah lingkungan, perlu dikembangkan pemanfaatan material tersebut sebagai bahan konstruksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kuku (2010), agregat bantak dimanfaatkan untuk aplikasi campuran agregat kasar struktur

beton. Agregat bantak juga pernah diteliti oleh Emma Rahaidani tahun 2010 yang dimanfaatkan sebagai campuran agregat kasar pada perkerasan jalan.

Pada penelitian ini merupakan penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Emma Rahaidani (2010), yaitu mengenai agregat Bantak sebagai pengganti *filler*, agregat halus, dan agregat kasar pada perkerasan jalan lentur dengan mengacu pada metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai bahan pengikat agregat digunakan aspal *Shell*, AC 50/70, AC 60/70 dan Emulsi CSS-1.

Dalam rangka mencapai sasaran penelitian, maka perlu disusun suatu strategi yang tertuang dalam lingkup dan metode penelitian yang meliputi analisis bahan baku (sifat kimia, fisik, dan mekanik), uji coba campuran beraspal panas di laboratorium dari berbagai proporsi campuran dan kadar aspal. Melalui serangkaian penelitian tersebut, diharapkan akan diperoleh suatu proporsi yang tepat dan hasil yang baik sehingga dapat membantu dalam kegiatan industri konstruksi.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut: (a) Bagaimanakah karakteristik agregat bantak ditinjau dari hasil pengujian laboratorium; (b) Bagaimanakah karakteristik campuran beton aspal padat ditinjau dari metode pengujian Marshall yang menggunakan agregat bantak dengan bahan pengikat agregat aspal *Shell*, AC 50/70, AC 60/70 dan Emulsi CSS-1 (kepadatan dan stabilitas Marshall, VIM, VFB, VMA).

## KAJIAN PUSTAKA

### Aspal AC 60/70, Modifikasi Aspal AC 60/70 dan *Emulsi*

Primandini (2012) meneliti tentang penggunaan variasi agregat (Krasak dan Bantak). Agregat Bantak digunakan sebagai *filler* pada campuran beton aspal panas dengan menggunakan jenis Modifikasi Polimer AC 50/70 PT. Aspal Mitra Cilacap-Jawa Tengah. Kadar aspal optimum pada campuran Marshall menggunakan variasi agregat ini adalah sebesar 6,25%.

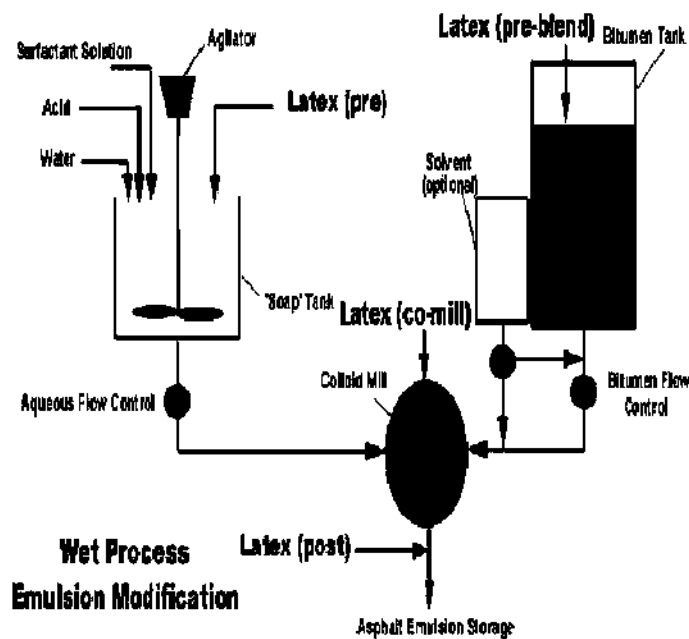
Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan Bantak sebagai filler pada campuran tersebut mempunyai nilai VIM yang memenuhi SNI pada kadar 6% dan 6,5%. Nilai MQ masuk kedalam kategori aspal menurut SNI, kecuali pada Nilai 7% dengan nilai 250. Sedangkan untuk nilai VMA, VFB, *flow* dan Stabilitas berturut-turut sebesar 31,58%; 85,04; 3,73 dan 1128,48 dimana dari semua hasil pengujian tersebut masuk kedalam Standar Nasional Indonesia.

Tino (2012) melakukan penelitian tentang penggunaan material Bantak sebagai bahan perkerasan jalan raya dengan menggunakan metode campuran beraspal panas Marshall. Kadar aspal yang digunakan pada penelitian tersebut berturut-turut sebesar 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; dan 7%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya kadar aspal optimum pada nilai sebesar 6,5%. Sedangkan untuk nilai VIM dengan menggunakan agregat Bantak mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan agregat Krasak dengan selisih hasil sebesar 1,195%; berdasarkan VFB, VMA, *flow* dan MQ dengan menggunakan agregat Bantak hasilnya menurun berturut-turut sebesar 23,44%; 14,98%; 0,662mm dan 46,34%. Kesimpulan hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan agregat Bantak sebagai material perkerasan jalan raya masuk untuk semua kategori pengujian berdasarkan Standar Nasional Indonesia, sehingga agregat Bantak dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan raya.

Putrowijoyo (2006) meneliti tentang kajian laboratorium sifat Marshall dan durabilitas *Asphalt concrete-wearing course (AC-WC)* dengan Membandingkan

penggunaan antara semen Portland dan abu batu sebagai *filler*. Pada campuran AC-WC yang biasanya menggunakan *filler* abu batu dibandingkan dengan menggunakan *filler* semen portland. Semen portland yang digunakan itu sendiri adalah semen portland tipe-I yang biasa digunakan sebagai campuran pada konstruksi beton dan banyak dijumpai di pasaran. Sebelum dilakukan pengujian Marshall dan durabilitas pada campuran, dilakukan pengujian pada sifat semen portland dan abu batu sebagai pembanding. Hasil pengujian berat jenis pada semen portland adalah 3,153 gr/cc sedangkan berat jenis abu batu adalah 2,635 gr/cc. Untuk pengujian material lolos 75 mikron pada semen portland adalah 99,6% sedangkan pada abu batu adalah 88,8%. Kadar aspal rencana yang akan digunakan baik pada campuran dengan *filler* semen portland maupun abu batu adalah 5,5% terhadap total campuran. Setelah dilakukan uji Marshall dengan kadar aspal rencana maka kadar aspal optimum yang didapat pada campuran dengan *filler* semen portland dan abu batu mempunyai nilai yang tidak sama, yaitu pada 100% abu batu adalah 5,738%, 50% abu batu – 50% semen portland adalah 5,725% dan 100% semen portland adalah 5,725%, kemudian disamakan menjadi 5,7%. KAO yang didapatkan tersebut telah memenuhi persyaratan akan sifat-sifat Marshall sedangkan VIM dan VFA sebagai pembatasnya.

M.A. Shafii (2011) meneliti tentang penggunaan modifikasi aspal polymer emulsi. Variasi jenis polimer yang digunakan adalah *styrene butadiene styrene* (SBS) *block copolymer*, *ethylene vinyl acetate* (EVA), *polyvinyl acetate* (PVA), *styrene butadiene rubber* (SBR) *latex*, *epoxy resin* dan *natural rubber latex*. Polimer dapat dicampurkan ke dalam aspal emulsi dengan tiga cara, *pre-blending method*, 2) *simultaneous-blending method* dan 3) *post-blending method*. Metode blending mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap kinerja modifikasi aspal emulsi polymer. Berikut disajikan Gambar 4 proses modifikasi aspal emulsi di laboratorium.



Gambar 1. Proses pembuatan modifikasi aspal emulsi (Sumber: M.A. Shafii, 2011)

Imran Hafeez (2009) meneliti tentang penggunaan aspal modifikasi 60/70 dan 40/50, kadar filler berturut-turut sebesar 2,4%, 3,4% dan 4,4%, menggunakan bahan tambah modifikasi aspal tetrapolymer berfungsi untuk mencari perilaku aspal hot mix akibat beban permanen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan aspal midifikasi tetrapolymer pada daerah rasio plastik ke daerah elastik adalah fungsi dari jumlah repetisi beban, temperatur, tingkat tegangan, modulus aspal semen dan gradasi agregat. Pengujian creep menunjukkan hasil yang sama dengan prediksi deformasi permanen dibandingkan dengan pengujian beban berulang. Campuran hot mix dengan menggunakan agregat kasar mempunyai ketahanan yang lebih baik apabila dibandingkan agregat halus apabila ditinjau dari beban berulang dan dan besarnya regangan yang terjadi pada specimen.

### Persentase untuk menghasilkan stabilitas Marshall *Optimum*

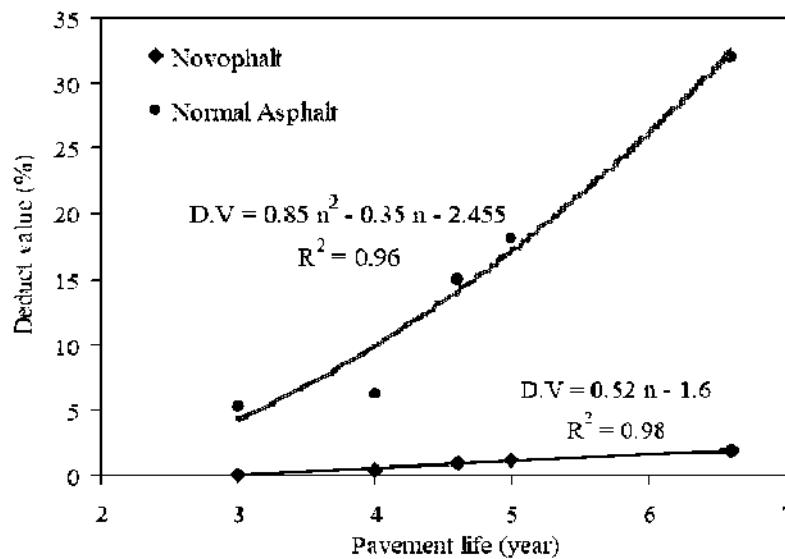
Muhamad Nazri Borhan, et. Al (2009) meneliti tentang pengaruh penggunaan cylinder oils pada campuran asphalt concrete. Mekanikal properties asphalt dibandingkan antara asphalt modifikasi dengan asphalt normal. Kadar cyinder oil ditentukan berturut-turut sebesar 0%, 10%, 15% dan 20% dari volumenya. Pengujian dilakukan dengan metode Marshall, pengujian tarik tidak langsung, pengujian statik dinamik, dan creep. Hasil pengujian mengindikasikan pengaruh penggunaan cylinder oil pada campuran aspal beton berdasarkan persentase jumlah kadar cylinder oil. Secara umum, penggunaan cylinder oil berfungsi untuk mengurangi kadar maltenes yang terkandung pda asphalt. Penggunaan dosis cylinder oil yang tinggi akan menghasilkan kekuatan yang lebih rendah apabila ditinjau dari ketahanan asphalt terhadap deformasi. M.G.M. Al-Taher, et. Al (2008) mengusulkan mix desain aspal untuk pengujian Marshall modifikasi polymer dengan menggunakan novophalt sebagai berikut:

Tabel 4. Karakteristik mix desain aspal

Mix Properties	Novophalt		Normal Asphalt	
	*B.C	*S.C	B.C	S.C
% of asphalt content	4.8	5.4	4.5	5.3
Stability (lb)	3030	4480	2630	2980
Density (Mm <sup>3</sup> )	2.307	2.336	2.317	2.350
Flow (0.01 in)	13	14.1	12.1	13.9
% Air voids in mix	4.9	3.4	4.8	3.9
% Voids in mineral aggregate	15.2	15.3	14.9	15.0

\* S.C = Surface Course, \*\* B.C = Binder Course

Dengan modifikasi mix desain di atas, akan menghasilkan peningkatan kualitas aspal seperti di sajikan pada Gambar 2 di bawah.



Gambar 2. Rutting deduct value with respect ratio time  
(Sumber: M.G.M. Al-Taher, et. Al, 2008)

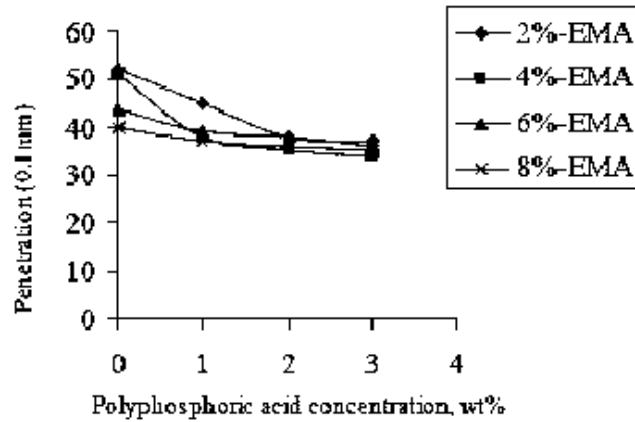
Sinan Hınıslıoglu, et. al (2005) meneliti tentang pengaruh penggunaan polyethelene sebagai bahan tambah, pada deformasi asphalt concrete. Pengujian dilakukan dengan cara memodifikasi karakteristik aspal normal. Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah pemadatan aspal, persentase rongga yang terisi aspal, stabilitas marshall dan palstisitas marshall (Marshall quotient), regangan tekan dan modulus kekakuan aspal. Pengujian mekanik yang dilakukan meliputi penetrasi, titik lembek, titik nyala dan bakar. Penggunaan polyethelene sebesar 1-4% dari berat agregat pada suhu campuran 185°C. Hasil pengujian menunjukkan pada penambahan 3% *polyethelene*, stabilitas Marshall meningkat sebesar 57%. Sedangkan pada penambahan 2% polyethelene, terjadi penurunan nilai regangan sebesar 34% dan peningkatan kekakuan sebesar 52%. Penambahan polyethelene akan meningkatkan ketahanan deformasi plastis aspal, berdasarkan nilai stabilitas dan kekakuan aspal. Penggunaan aspal modifikasi polyethelene cocok apabila digunakan pada lalu lintas suhu tinggi.

### Karakteristik Berbagai pengujian Aspal (titik nyala, lembek, bakar, penetrasi)

Ghaly, N.F. (2008) melaporkan tentang pengaruh kombinasi polypropylene dan styrene-butadiene styrene pada aspal, dan kinerja campuran aspal. Dasar dari penelitian tersebut adalah adanya polymers modified asphalts (PMAs) mempunyai ketahanan yang bagus pada temperature tinggi dan rendah, akan tetapi mempunyai batas kekakuan dan kegetasan, yang menyebabkan kelelahan material dan retak karena cuaca. Penelitian ini menggunakan delapan modifikasi aspal PP berturut-turut sebesar 3%, 4% 5%, 6% dan 7% dari berat aspal, persentase SBS sebesar 2% dari berat aspal. Marshall digunakan untuk seluruh pengujian baik modifikasi ataupun non-modifikasi, dengan dengan campuran aspal sebesar 6%, pengujian dilakukan dengan menggunakan *Wheel tracking test* (WTT). Hasil pengujian menunjukkan bahwa modifikasi aspal dapat memperbaiki sifat mekanik aspal. Adanya polypropylene berpengaruh terhadap fleksibilitas dan stabilitas pada temperatur yang rendah dan tinggi. Akan tetapi, pencampuran antara styrene butadiene-styrene dengan *polypropylene* secara signifikan akan mengurangi

kegetasan pada aspal pada saat suhu rendah. Penambahan polypropylene sebesar 6% dan styrene butadiene 2% akan meningkatkan kinerja aspal pada temperatur tinggi sekalipun, sampai dengan 88,3%

Pengujian aspal modifikasi juga menunjukkan hasil yang optimal, seperti yang dilakukan oleh Trakarnpruk, W (2005) seperti disajikan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Pengaruh penambahan EMA dan PPA pada nilai penetrasi (Sumber: Trakarnpruk, W, 2005)

M.H.M. Hussain, N.F. Ghaly (2008) melaporkan tentang penggunaan aspal modifikasi campuran panas hot mix untuk perawatan jalan raya karena pengaruh umur dan pembebanan berulang pada jangka waktu yang lama. Fokus dari penelitian ini adalah kinerja aspal modifikasi yang digunakan sebagai lapis ulang (*overlay*) jalan. Bahan tambah yang digunakan adalah Atactic-Polypropylene (APP) dengan kadar 3%-7% dari berat aspal. Bahan tambah lainnya adalah styrene-butadine (SBR), tier rubber (R) untuk memodifikasi aspal penetrasi 60/70. Pengujian yang dilakukan adalah titik lembek, penetrasi, indeks penetrasi, *dynamic viscosity*, pengujian tarik, Marshall dan Whell tracking test. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik aspal dapat ditingkatkan dengan adanya penambahan Atactic-Polypropylene (APP), hal ini berdasarkan pada hasil pengujian mekanik nilai polymer rasio. Pemakaian bahan tambah optimum pada penambahan APP sebesar 6% dan ISBR:1R sebesar 1%. Kekakuan, PTS dan tegangan tarik APP modifikasi dapat memperbaiki sifat aspal pada temperatur rendah ketika rubber ditambahkan sebesar 1%. Nilai stabilitas dan plastisitas Marshall meningkat berturut-turut sebesar 35% dan 11,7% pada penemabahan APP sebesar 6% dan ISBR:1R sebesar 1%. Penambahan APP secara umum akan meningkatkan kualitas aspal sebesar 84,3%.

Berikut disajikan gambar perbandingan aspal modifikasi APP dan SBR dengan benda uji kontrol.

Mix Properties	Novophalt		Normal Asphalt	
	*B.C	*S.C	B.C	S.C
% of asphalt content	4.8	5.4	4.5	5.3
Stability (lb)	3030	4480	2630	2980
Density (V/m <sup>3</sup> )	2.307	2.336	2.317	2.350
Flow (0.01 in)	13	14.1	12.1	13.9
% Air voids in mix	4.9	3.4	4.8	3.9
% Voids in mineral aggregate	15.2	15.3	14.9	15.0

\* S.C = Surface Course, \*\*B.C = Binder Course

Gambar 4. Pengaruh modifikasi aspal tipe *rutting depth*

M.G.M. Al-Taher, et. Al (2008) di Saudi Arabia meneliti tentang hasil pengujian modifikasi aspal polymer menggunakan novophalt. Hasil pengujian menunjukkan penggunaan novophalt sebagai bahan tambah untuk meningkatkan karakteristik asphalt. Penggunaan novophalt akan lebih baik jika ditambahkan dengan *polyethelene* sebesar 4-6%. Metode pengujian dilakukan dengan mengidentifikasi hubungan antara geometri, struktur, dan kondisi maksimal pada beban lalu lintas. Hasil analisis menunjukkan penggunaan asphalt novophalt lebih efektif dari segi kekuatan, kekelan bentuk geometri akibat beban berulang dan kestabilan karakteristik marshall. Akan tetapi, apabila ditinjau dari segi ekonomi tidak cukup efektif dikarenakan penggunaan bahan tambah polyethelene yang membutuhkan biaya besar. Besarnya peningkatan kekuatan aspal sebesar 53% dibandingkan dengan aspal normal. Apabila dihubungkan dengan tingkat keawetan rigid pavement, asphalt novophalt merupakan salah satu teknologi alternatif untuk menggantikan material AC 60/70 normal menjadi material kuat dan mempunyai durability optimal pada tingkat kinerja struktur rigid pavement optimum.

N.F. Ghaly (2008) melaporkan bahwa kadar polyethylene (LDPE) 3% sampai dengan 6% dengan kombinasi *styrene butadiene* 2% akan menghasilkan suatu jenis aspal hotmix yang mempunyai daya tahan tinggi, hal ini diindikasikan dengan besarnya nilai penetrasi aspal AC 60/70 modifikasi. Akan tetapi, apabila ditinjau dari workability dan retak karena beban berulang, LDPE mempunyai kualitas yang lebih rendah. Ketahanan aspal modifikasi terhadap deformasi permanen pada temperatur yang tinggi dan ketahanan retak akan efektif pada penambahan kadar LDPE sebesar 5% dan 2% SBS, dengan peningkatan kekuatan berturut-turut sebesar 72,4% dan 77%. Pada *mix desain* tersebut, nilai karakteristik aspal akan meningkat dibandingkan dengan AC 60/70 non-modifikasi.

Nrchai Tuntiworawit, et. al. (2005) meneliti tentang modifikasi aspal AC 60/70 dengan menggunakan Rubber Latex 1% sampai dengan 13% dari berat volume, sebagai bahan tambah pada campuran aspal hot mix. Hasil pengujian menunjukkan bahwa natural rubber latex sebagai bahan tambah merupakan salah satu alternatif terbaik untuk meningkatkan performa hot mix. Penggunaan natural rubber latex dapat meningkatkan fleksibilitas dan stabilitas pada asphalt pavement. Hasil proporsi natural rubber latex optimum didapatkan nilai sebesar 9% dari berat volume agregat.

Bambang S Subagio (2005) melaporkan tentang hasil pengujian karakteristik modulus kekakuan dan deformasi plastis aspal dengan menggunakan Tafpack super produksi Taiyu Kensetsu. Besarnya prosentase Tafpack Super yang digunakan pada pengujian tersebut adalah 5%, 10% dan 15% dari berat total volume. Besarnya

variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Jenis pengujian yang dilakukan adalah dengan metode Marshall, Cantabro Loss test dan Aspal Flow down test. Penggunaan tafpack super sebagai modifikasi bahan perekat menunjukkan angka penetrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan benda uji referensi, peningkatan terjadi pada pengujian softening point dan viskositas bahan aspal. Pengujian wheel tracking test dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara Dynamic stability of porous mix, dan VIM. Hasil pengujian karakteristik aspal yang lain seperti Modulus elastisitas lebih rendah dibandingkan dengan sample referensi sedangkan untuk kuat tariknya mengalami peningkatan. Penggunaan Tafpack super sebagai bahan tambah pada aspal akan menambah karakteristik aspal ditinjau dari berbagai macam pengujian.

## **METODE PENELITIAN**

### **Desain Eksperimen**

Desain eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **Tempat**

Pembuatan benda uji (*specimen*) dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Selanjutnya, pengujian yang dilakukan adalah:

1. Sifat mekanik material dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Pengujian eksperimen untuk mendapatkan karakteristik beton aspal Marshall, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.

### **Rancangan Percobaan**

Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari karakteristik/perilaku beton aspal Marshall dengan tiga jenis variasi bahan, agar didapatkan suatu desain campuran optimal.

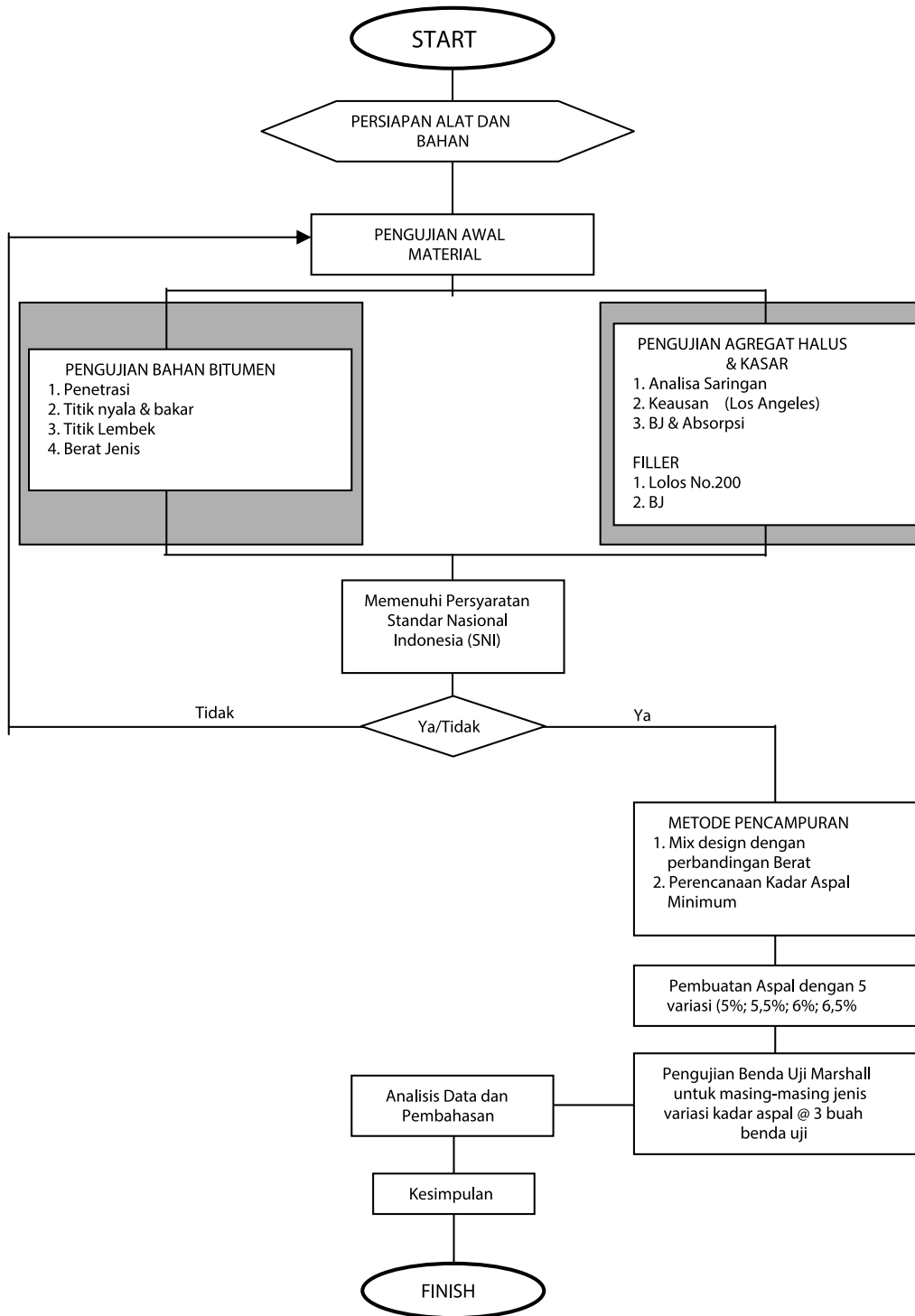
Penelitian ini dilakukan dalam 5 tahapan penelitian, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan sifat bahan agregat halus, agregat kasar, pengujian berat jenis.
2. Pengujian bahan bitumen (Penetrasi, titik lembek, titik nyala dan bakar, daktilitas dan kehilangan berat).
3. Perhitungan rancangan pencampuran untuk mendapatkan kadar aspal optimum
4. Pengujian karakteristik Marshall laboratorium
5. Analisis data dan pembahasan

### **Prosedur Penelitian**

Diagram alir penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut.





Gambar 5. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

## BAHAN DAN ALAT (EKSPERIMEN DAN UJI LABORATORIUM)

### Bahan/Material

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Agregat bantak dari merapi; Aspal Emulsi, Modifikasi AC 60/70, Aspal Shell (Singapura), AC 60/70 (pertamina); Agregat halus yang digunakan berupa Pasir Krasak yang berasal dari Kabupaten Sleman-Yogyakarta.

**Peralatan Peralatan dan Instrumentasi pengujian**

Peralatan pengujian bahan antara lain: Saringan, Oven, ejector, dan pengaduk aspal. Sedangkan untuk **Peralatan benda uji meliputi**: Alat pemeriksaan agregat yang terdiri dari mesin Los Angeles (uji abrasi), saringan standar, oven, bak perendam, alat uji *sand equivalent*, timbangan, dan alat uji berat jenis dan penyerapan; Alat pemeriksaan aspal terdiri dari pikometer, timbangan, alat uji penetrasi, destilasi, alat uji muatan partikel, alat uji Saybolt furol Viscosity, dan bak perendaman. Alat uji karakteristik campuran beton aspal Marshall.

**Cara Penentuan Contoh**

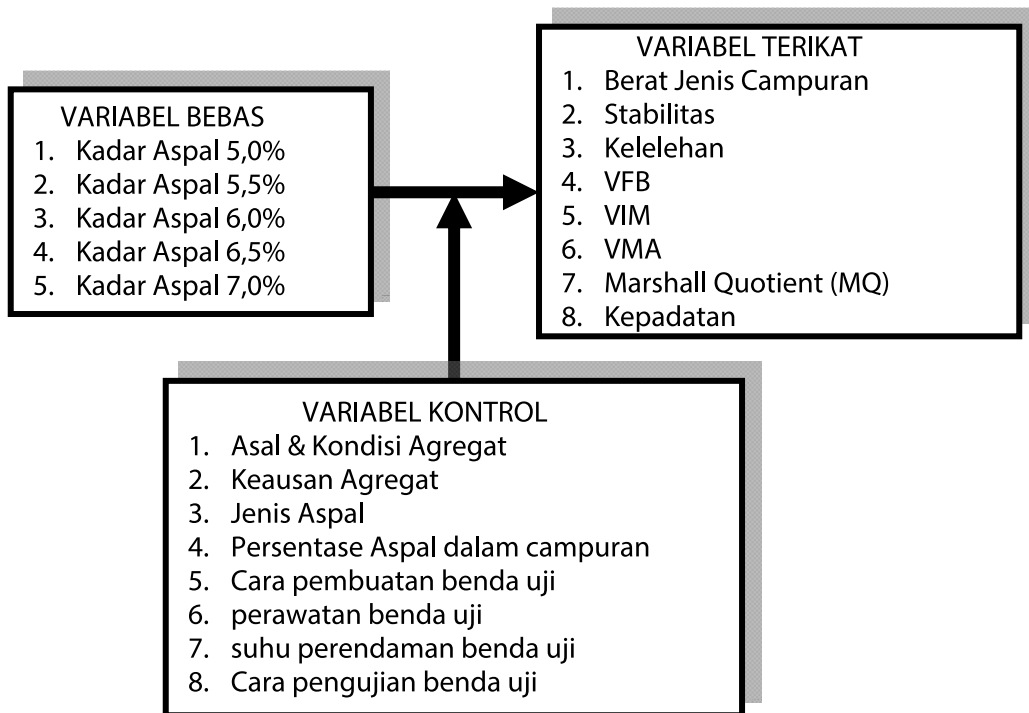
Jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian eksperimental dijelaskan secara lebih rinci untuk beton aspal dengan agregat bantak adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Jumlah sampel *specimen* Marshall

No	Keterangan	Kadar Aspal (%)	Jumlah	Jenis Pengujian
1	Shell	5; 5.5; 6; 6.5; dan 7	15 buah	Marshall
2	AC 50/70	5; 5.5; 6; 6.5; dan 7	15 buah	Marshall
3	AC 60/70	5; 5.5; 6; 6.5; dan 7	15 buah	Marshall
4	Emulsi	5; 5.5; 6; 6.5; dan 7	15 buah	Marshall

**Pengendalian Eksperimen**

Cara Pengendalian eksperimen dilakukan dengan mengikuti pola seperti yang disajikan pada Gambar 4 di bawah.



Gambar 6. Hubungan antar variabel

## HASIL & PEMBAHASAN

### Pemeriksaan material aspal

Hasil pemeriksaan untuk masing-masing jenis material aspal disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Pemeriksaan material aspal

No	Keterangan	Penetrasi (25°) mm	Titik lembek (°C)	Titik nyala (°C)	Titik bakar (°C)	Bj Aspal
1	Shell	67,93	56,95	320,33	324,00	1,038
2	AC 50/70	67,85	55,30	283,00	286,70	1,052
3	AC 60/70	69,07	54,10	322,67	324,67	1,037
4	Emulsi	-	-	-	-	1,042

### Pemeriksaan Agregat

Hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini

Tabel 4. Hasil pemeriksaan agregat bantak

Agregat Kasar Bantak					
No	Jenis Pemeriksaan	Sat	Persyaratan		Rerata
			Min.	Max.	
1	Abrasi	%	-	40	34.57
2	BJ curah (bulk)	gr/cc	2.5	-	2.306
3	BJ Semu	gr/cc	2.5	-	2.377
4	Absorpsi	%	-	3	3.100
Agregat Halus Bantak					
No	Jenis Pemeriksaan	Sat	Persyaratan		Rerata
			Min.	Max.	
1	BJ curah (bulk)	gr/cc	2.5	-	2.630
2	BJ Semu	gr/cc	2.5	-	2.903
3	Absorpsi	%	-	3	3.573
Filler Bantak					
No	Jenis Pemeriksaan	Sat	Persyaratan		Rerata
			Min.	Max.	
1	Berat Jenis	gr/cc	2.5	-	2.565

### Hasil pengujian Marshall

Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum aspal jenis Shell, AC 50/70, AC 60/70 dan Emulsi disajikan pada Tabel 5, sampai dengan 8 di bawah.

Tabel 5. Hasil pengujian Marshall aspal Shell

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5	5,5	6	6,5	7
1	Density (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2,30	2,35	2,33	2,34	2,33
2	VMA (%)	>13	10,70	9,25	10,56	13,50	14,24
3	VFB (%)	>60	9,03	31,07	39,56	62,12	69,02
4	VIM (%)	3,5-5,5	9,75	6,66	6,40	4,75	4,07
5	Stabilitas (kg)	>800	1242,28	1656,52	1684,59	1592,13	1202,77
6	Flow (mm)	>3	4,07	4,17	4,15	4,27	4,32
7	MQ (kg/mm)	>250	308,91	397,067	408,05	372,533	279,50

Tabel 6. Hasil pengujian Marshall aspal AC 50/70

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5	5,5	6	6,5	7
1	Density (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2,28	2,31	2,33	2,34	2,31
2	VMA (%)	>13	11,36	10,80	10,45	13,40	12,06
3	VFB (%)	>60	7,04	21,96	38,42	60,61	59,08
4	VIM (%)	3,5-5,5	10,57	8,43	6,48	4,83	4,97
5	Stabilitas (kg)	>800	1014,54	1072,92	1168,64	1197,76	1117,74
6	Flow (mm)	>3	3,40	2,60	2,50	3,10	3,20
7	MQ (kg/mm)	>250	303,45	416,82	476,34	391,08	343,54

Tabel 7. Hasil pengujian Marshall aspal AC 60/70

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			5	5,5	6	6,5	7
1	Density (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2,31	2,31	2,32	2,33	2,33
2	VMA (%)	>13	10,34	10,74	10,82	13,92	11,54
3	VFB (%)	>60	9,27	24,10	38,60	60,10	66,14
4	VIM (%)	3,5-5,5	9,39	8,20	6,67	5,20	4,20
5	Stabilitas (kg)	>800	1320,37	1363,50	1317,69	1156,54	1100,61
6	Flow (mm)	>3	2,97	3,00	3,03	3,07	3,10
7	MQ (kg/mm)	>250	445,11	455,41	434,32	377,28	354,58

Tabel 8. Hasil pengujian Marshall aspal Emulsi

No	Jenis pemeriksaan	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)			
			7,5	8	8,5	9
1	Density (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2,23	2,27	2,24	2,31
2	VMA (%)	>13	15,39	14,76	16,03	16,20
3	VFB (%)	>60	55,68	69,21	72,60	85,51
4	VIM (%)	3,5-5,5	6,85	4,56	4,40	2,57
5	Stabilitas (kg)	>800	633,24	678,61	803,17	834,15
6	Flow (mm)	>3	2,67	3,13	3,23	3,48
7	MQ (kg/mm)	>250	241,76	228,68	272,05	239,27

## PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Aspal

#### Penetrasi Aspal

Dari hasil pemeriksaan penetrasi aspal termasuk dalam aspal pen 60/70 untuk Shell, AC 50/70 dan AC 60/70. Hasil pengujian tersebut termasuk ke dalam estandar pengujian, sehingga material aspal dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya.

#### Titik Lembek

Pemeriksaan titik lembek yang untuk mengukur batas kekerasan aspal dengan cara membebani dengan bola baja dan memanaskan didalam media air. Berdasarkan pengujian titik lembek material aspal, ketiga jenis aspal yaitu Shell, AC 50/70 dan 60/70 termasuk kedalam rentang batas suhu titik lembek yang dipersyaratkan sebesar 48°C sampai dengan 58°C.

### Titik nyala dan titik bakar

Tujuan pemeriksaan suhu kondisi titik nyala dan titik bakar adalah untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan sifat sebagai akibat pemanasan yang terlalu tinggi serta untuk mengetahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Besarnya titik nyala dan bakar yang disyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 minimal sebesar 200 °C dan dari hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala dan bakar aspal masih dalam rentang standar yang dipersyaratkan.

### Berat Jenis Aspal

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama (Sukirman, 2003). Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah >1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan Aspal Shell, AC 50/70, AC 60/70 dan Emulsi berturut-turut sebesar 1,038; 1,052; 1,037 dan 1,042 menunjukkan hasil di atas persyaratan minimum yang disyaratkan.

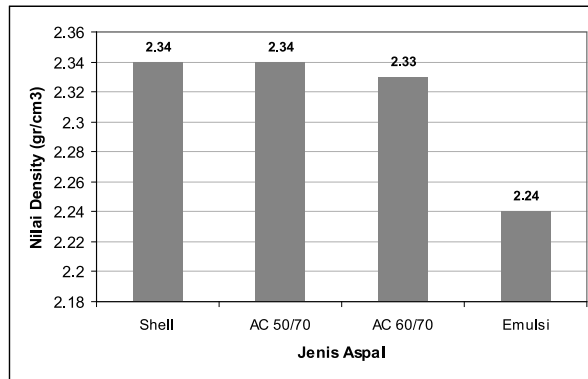
### Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Hasil pengujian agregat kasar bantak merapi yang diambil dari PT. Calvary Abadi mempunyai nilai berat jenis curah (*bulk*) sebesar 2,306 gr/cc. Sedangkan penyerapan air (*absorpsi*) agregat kasar bantak sebesar 3,1%. Hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles, menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan tahan terhadap abrasi, ini terlihat dari nilai keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 34,57 %. Berdasarkan pengujian agregat halus bantak, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus bantak memiliki nilai berat jenis curah (*bulk*) sebesar 2,630 gr/cc. Nilai penyerapan air (*absorpsi*) agregat halus bantak menunjukkan nilai 3,573 %.

## 1. Pengujian Marshall

### a. Density

Kepadatan merupakan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukannya. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah. Hasil perbandingan pengujian *density* (kepadatan) pada kadar aspal optimum sebesar 6,5% selengkapnya disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.

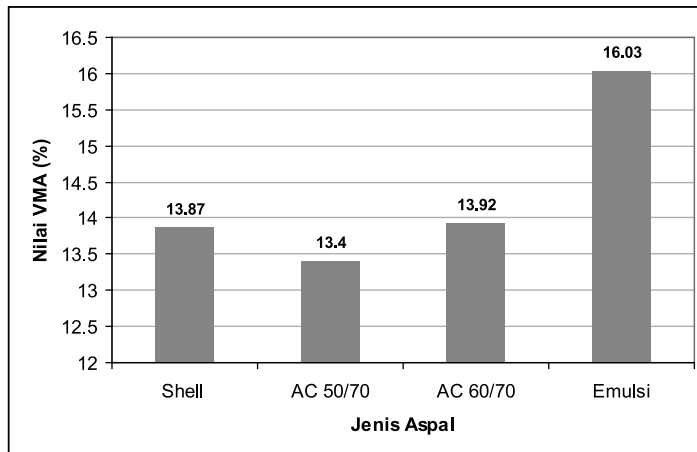


Gambar 7. Grafik hubungan antara Nilai density Marshall dan Jenis Aspal

Berdasarkan Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa nilai density tertinggi pada Aspal jenis Shell dan AC 50/70 sebesar 2.34gr/cm<sup>3</sup>. nilai kepadatan akan menurun pada AC 60/70 dan Emulsi CSS-1. arnya penurunan kepadatan AC 60/70 dan Emulsi CSS-1 berturut-turut sebesar 0,42% dan 4,46%. Penurunan kepadatan dipengaruhi oleh kadar aspal yang terkandung pada setiap jenis campuran. Pada Aspal Shell dan AC 50/70 mempunyai density yang lebih tinggi dikarenakan kedua jenis aspal tersebut merupakan aspal modifikasi yang didalamnya ditambahkan bahan tambah seperti polimer dan serat, sehingga akan berpengaruh terhadap nilai kepadatan aspalnya.

**b. Void in the Mineral Agregate (VMA)**

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara. dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Hasil pengujian untuk masing-masing jenis material aspal disajikan pada Gambar 6 di bawah ini.

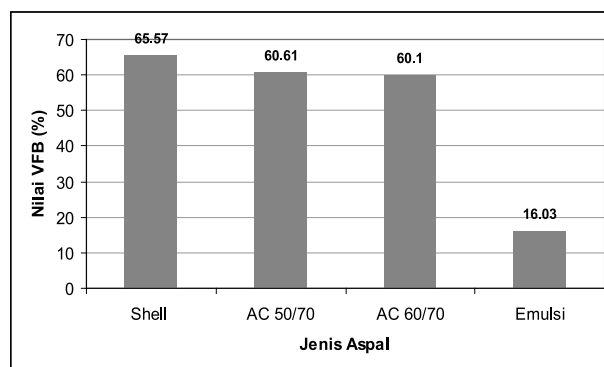


Gambar 8. Grafik hubungan antara VMA dan Jenis aspal

Berdasarkan Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa pada campuran aspal Emulsi CSS-1 mempunyai VIM tertinggi dengan nilai 16,03%. Hal ini mengindikasikan rongga yang berada pada campuran aspal emulsi tidak sepenuhnya diserap dengan baik, karena aspal emulsi berbentuk cair yang menyebabkan daya serap agregat bantak menjadi lebih tinggi dikarenakan porositasnya yang besar. Nilai terbaik untuk VIM ditunjukkan oleh AC 50/70 dikarenakan aspal jenis ini adalah modifikasi dari aspal biasa dengan ditambahkan polimer. Sehingga rongga aspal dapat terisi oleh bahan tambah polimer yang menyebabkan ikatan antar partikel menjadi lebih kuat.

### c. Void Filled Bitumen (VFB)

VFB (*Void Filled Bitumen*), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedap air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: energi, suhu pemadatan, jenis dan kadar aspal, serta gradasi agregatnya. Hasil pemeriksaan VFB disajikan pada Gambar 7 di bawah ini.

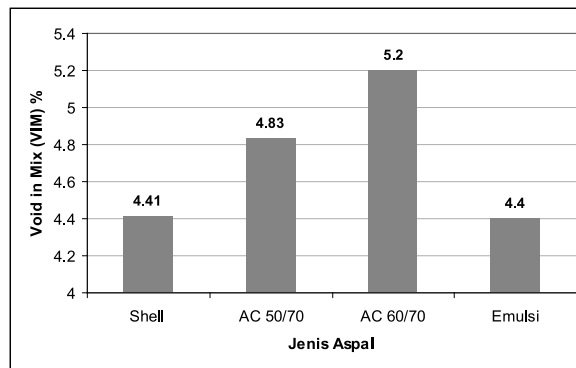


Gambar 9. Nilai *Void Filled Bitumen* (VFB)

Berdasarkan Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa Aspal jenis Shell mempunyai nilai tertinggi sebesar 65,67%. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedap campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.

### d. Void in Mix (VIM)

VIM (*Void In Mix*) adalah banyaknya rongga dalam campuran yang dinyatakan dalam prosentase. Rongga udara yang terdapat dalam campuran diperlukan untuk tersedianya ruang gerak untuk unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisnya. Karena itu nilai VIM sangat menentukan karakteristik campuran. Nilai VIM (*Void In Mix*) dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan *density*. Hasil pengujian VIM untuk masing-masing jenis material aspal disajikan pada Gambar 8 di bawah ini.

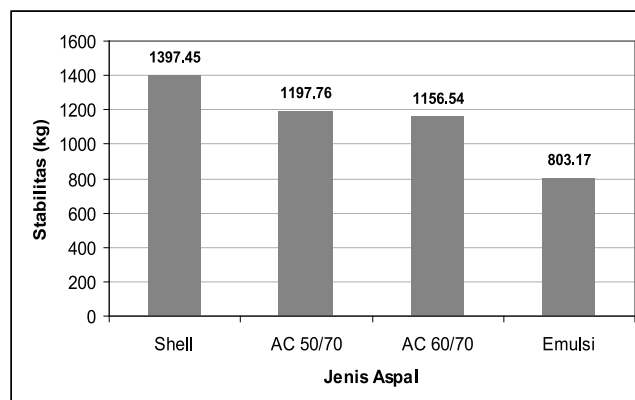


Gambar 10. Nilai Void in Mix (VIM)

Berdasarkan Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa VIM tertinggi pada AC 60/70. Jika nilai VIM (*Void In Mix*) yang terlalu tinggi berkurangnya keawetan dari lapis keras karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan. Udara akan mengoksidasi aspal sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Jika hal ini terjadi akan menimbulkan pelepasan butiran (*raveling*), sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan mudah terjadinya *bleeding* pada lapis keras. Selain *bleeding*, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak (*cracking*) apabila menerima beban lalu lintas karena tidak cukup lentur untuk menerima *deformasi* yang terjadi. Nilai VIM standar ditunjukkan pada aspal Shell dengan nilai sebesar 4,41%, hal ini mengindikasikan bahwa aspal Shell dan emulsi mempunyai kadar VIM yang lebih baik dibandingkan dengan aspal yang lainnya.

**e. Stabilitas**

Stabilitas campuran dalam pengujian Marshall ditunjukkan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka tebal benda uji. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Hasil pengujian stabilitas Marshall disajikan pada Gambar 9 di bawah ini.



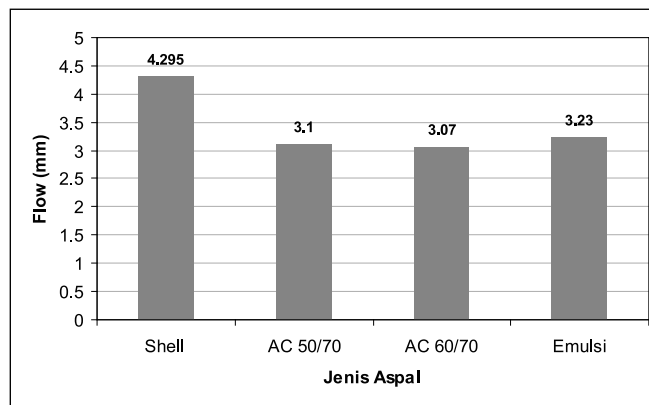
Gambar 11. Nilai stabilitas Marshall



Berdasarkan Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa nilai stabilitas Marshall tertinggi pada aspal Shell. Stabilitas akan menurun pada Ac 50/70; AC 60/70 dan Emulsi CSS-1 berturut-turut sebesar 16,67%; 20,83% dan 73,99%. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar butir agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kadar aspal juga berpengaruh.

#### f. Flow

*Flow* atau kelelahan menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.

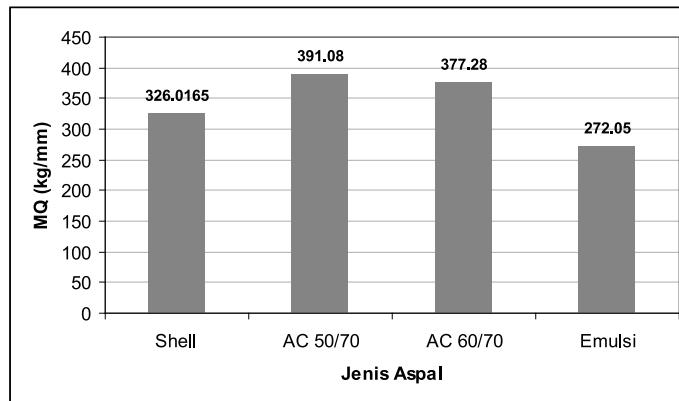


Gambar 12. Nilai *Flow*

Gambar 10 di atas menunjukkan bahwa *Flow* tertinggi pada aspal Shell dengan nilai sebesar 4.286mm. Penurunan atau deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan nilai karakteristik *Marshall* lainnya, seperti *VFB (Void Filled Bitumen)*, *VIM (Void In Mix)* dan stabilitasnya. Nilai *flow* dipengaruhi antara lain oleh gradasi agregat, kadar aspal dan proses pemadatan yang meliputi suhu pemadatan. Aspal terdiri dari dua komponen utama yaitu *asphalteness* dan *malteness*. *Asphalteness* yang memberikan warna cokelat atau hitam pada aspal sedangkan *malteness* dan *oil* yang juga akan mempengaruhi nilai *flow*. Aspal shell merupakan aspal modifikasi AC 60/70 dengan bahan *malteness* dan *oil* yang tinggi, sehingga nilai *flow* lebih besar dibandingkan dengan jenis aspal yang lainnya.

#### g. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 13. Marshall Quotient (MQ)

Berdasarkan Gambar 12 di atas menunjukkan bahwa nilai MQ tertinggi pada AC 50/70 dengan nilai sebesar 391,08kg/mm. sedangkan nilai terendah ada pada aspal Emulsi CSS-1 dengan nilai sebesar 272.05kg/mm. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* (QM) berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient* (QM) maka perkerasannya semakin lentur.

## SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis data di atas dapat disimpulkan sebagai berikut: (a) Hasil pengujian agregat kasar bantak merapi mempunyai nilai berat jenis curah (*bulk*), absorpsi berturut-turut sebesar 2,306gr/cc dan 3,1%. Nilai keausan rata-rata, berat jenis curah dan absorpsi agregat halus berturut-turut sebesar 34,57%; 2,630% dan 3,573%. (b) Besarnya density untuk jenis aspal Shells, AC 50/70, Ac 60/70 dan Emulsi CSS-1 berturut sebesar 2.34%; 2.34% 2.33% dan 2.24%. Besarnya VMA berturut-turut sebesar 13.87%; 13.40%; 13.92% dan 16.03%. VFB, VIM, Stabilitas, flow dan MQ maksimum berturut-turut sebesar 65.57% (Aspal shell); 5.2% (AC 60/70); 1397.45kg (Shell); 4.295mm (Shell); 391.08kg/mm (AC 50/70).

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] AASTHO M 20 – 70 (2002). Spesifikasi AASHTO untuk berbagai nilai penetrasi aspal.
- [2] Bambang S Subagio, Djunaedi Kosasih dan Dinya Tenrilangi. 2005. Development of stiffness modulus and Plastic deformation characteristics Of porous asphalt mixture Using Tafpack Super™ BUSNIAL. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 803 - 812, 2005
- [3] Imran Hafeez. 2009. *Impact of Hot Mix Asphalt Properties on its Permanent Deformation Behaviour Department Of Civil Engineering Faculty Of Civil & Environmental Engineering.*
- [4] Kuku Dwi Sasongko. (2010). Pengaruh Variansi Butiran Maksimum Agregat Bantak Dan Agregat Clereng Pada kuat tekan Kubus beton dan Pada Kecepatan Gelombang Ultrasonik. Tesis Program Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

- [5] Ghaly, N.F. 2008. Combined Effect of Polypropylene And Styrene-butadiene Styrene on Asphalt, and Asphalt Mixture Performance, *Journal of Applied Sciences Research*, 4(11): 1297-1304, 2008, © 2008, INSInet Publication. Petroleum Research Institute. Cairo. Egypt.
- [6] M. A. Shafii<sup>1</sup>, M. Y. Abdul Rahman and J. Ahmad. Polymer Modified Asphalt Emulsion. 2005. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS* Vol: 11 No: 06.
- [7] Muhamad Nazri Borhan, Fatihah Suja, Amiruddin Ismail, Riza Atiq O.K. Rahmat. 2008. The Effects of Used Cylinder Oil on Asphalt Mixes.
- [8] M.g.M. Al-Taher, A. Mohamady and M.A. Shalaby. 2008. Evaluation of asphalt pavements constructed Using novophalt.
- [9] Nrachai Tuntiworawit, Direk Lavansiri dan Chayatan Phromsorn. 2005. The Modification Of Asphalt With Natural Rubber Latex *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 679 - 694, 2005.
- [10] PT. Bintang Jaya. 2009. Starbit: Modifikasi Aspal dengan Polimer. Semarang: PT. Bintang Jaya
- [11] Primandini Wahyu M. (2012). Karakteristik Marshall Modifikasi Polimer Ac 50/70 Menggunakan Variasi Agregat Krasak Dan Bantak Pada Lalu Lintas Berat. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [12] Rahmat, 2010. Pemanfaatan Bantak Sebagai Agregat kasar dan Asbuton Lawele sebagai Agregat Halus Pada Lapis AC- Base. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- [13] Rahaidani, E. 2010. Pemanfaatan Bantak Sebagai Agregat kasar dan Asbuton Lawele sebagai Agregat Halus Pada Lapis HRS - Base. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- [14] Rian Putrowijoyo, (2006). Kajian laboratorium sifat marshall dan durabilitas Asphalt concrete - wearing course (ac-wc) dengan Membandingkan penggunaan antara semen Portland Dan abu batu sebagai filler. Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro : Semarang.
- [15] RSNI 06-2489-1991. Metode Pengujian campuran Aspal dengan Alat Marshall
- [16] SNI-06-2433-1991 dan AASHTO T49-02. Pengujian Titik Nyala dan Bakar dengan cawan cleveland.
- [17] SNI 06-2434-1991 AASHTO T53-02. Pengujian Titik Lembek
- [18] SNI 03-1969-1990. Pengujian Berat Jenis Beton Aspal Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Aspal
- [19] Silvia, Sukirman, 2005. Beton aspal campuran panas Alfabet: Bandung.

- [20] SNI 03-1969-1990; SK SNI M-09-1989-F dan AASHTO T84-88. Berat jenis agregat halus.
- [21] SNI-03-2417-1991 atau AASHTO T96-87. Pengujian abrasi menggunakan alat abrasi Los Angeles.
- [22] SNI-M-02-1994-2003 atau AASHTO T11-90. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah atau kering, analisis basah digunakan untuk menentukan Jumlah bahan agregat yang lolos saringan No.200.
- [23] SNI 03-1968-2002 dan AASHTO T27-88 atau. Ukuran butir agregat.
- [24] Sugiyono (2006). Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta: Bandung.
- [25] Tino Putro P. (2012). Karakteristik Aspal Modifikasi Polimer Ac 50/70 Menggunakan Agregat Lokal Bantak Pada Lalu Lintas Berat. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [26] Yusuf, Dahlan. 2011. Pengaruh Perbaikan Agregat Kasar Bantak Dengan Menggunakan Buton Glanular Aspal Pada Lapisan Campuran AC- Base. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- [27] Sinan hinişlioglu, Hatice nur aras, Osman unsal bayrak. department of civil engineering, engineering faculty, ataturk university, 25240 erzurum, turkey, received 12 april 2004, accepted 3 august 2005. indian journal of engineering & material sciences vol.12, october 2005, pp.456-460. effect of high density polyethylene on the permanent deformation of asphalt concrete.
- [28] W. Trakarnpruk, R. Chanathup. 2005. Physical and Rheological Properties of Asphalts Modified with Polyethylene-co-methylacrylate and Acids. Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol.15 No.2 pp.79-87, 2005.