

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN DALAM BEKAS
KENDARAAN DAN *FILLER* LIMBAH KARBON PADA
LASTON (AC-BC) TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL**

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli MadyaTeknik



Oleh :

Fauzi Satyagraha
NIM. 15510134030

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Proyek akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan *Filler* Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta 3 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

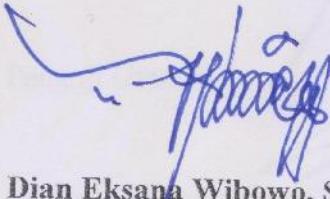
Dosen Pembimbing III

1. Dian Eksana Wibowo, S.T., M.Eng.

NIP. 19851030 201504 1 002

Yogyakarta, 3 Desember 2018

Dosen Pembimbing,



Dian Eksana Wibowo, S.T., M.Eng.

NIP. 19851030 201504 1 002

2. Ir. Endang Gunawati, M.T.

NIP. 19771009 199812 1 002

3. Drs. Heri Sudarmo, P.P., M.Pd.

NIP. 19630303 199312 1 001

Yogyakarta, 2018

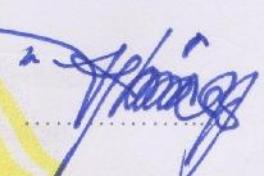
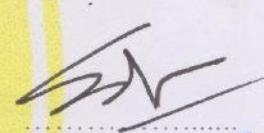
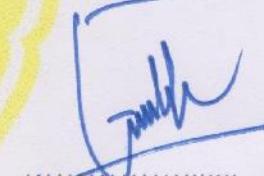
Delen Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Proyek akhir yang berjudul "*Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall*" ini telah dipertahankan di depan Dewan Pwnguji Pada tanggal 04 Desember 2018 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1. Dian Eksana Wibowo, ST., M.Eng NIP. 19851030 201504 1 002	Ketua Penguji	
2. Ir. Endaryanta, M.T. NIP. 19611109 199001 1 001	Penguji Utama I	
3. Galeh Nur Indriatno P P, M.Pd. NIP. 19008290 925552	Penguji Utama II	

Yogyakarta, 2018

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta

Dr. Widarto, M.Pd.

NIP. 19631230 198812 1 001

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Proyek Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya-karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali secara terlulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan pada daftar pustaka.

Yogyakarta, 15 November 2018

Yang Menyatakan,

Fauzi Satyagraha

NJIM 15510134030

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN DALAM BEKAS
KENDARAAN DAN *Filler* LIMBAH KARBON PADA
LASTON (AC-BC) TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL**

Oleh:
Fauzi Satyagraha
15510134030

ABSTRAK

Seiring dengan banyak ditemui jalan yang kurang memenuhi syarat atau kualitas aspal yang rendah, dan mudah rusak karena kurang mampu menahan beban, cuaca, dan lain-lain membuat perlunya peningkatan kebutuhan kualitas infrastruktur yang yang awet dan kuat. Oleh sebab itu dibutuhkan inovasi dalam peningkatan kualitas jalan. Jalan yang baik tentunya memiliki nilai perkerasan lentur yang tinggi. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal adalah dengan memanfaatkan bahan limbah seperti ban dalam bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit sebagai bahan pengisi campuran. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari prosentase bahan tambah ban karet bekas kendaraan pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall, serta mengetahui apakah hasil dari pengujian marshall sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan bahan tambah ban karet bekas kendaraan dengan variasi yang berbeda, yaitu 0%, 2%, 3% dan 4%. Karet ban yang digunakan adalah ban dalam sepeda motor yang dipotong menjadi bagian kecil, rata-rata sebesar 1,5 mm x 1,5 mm. Masing-masing variasi kadar ban karet bekas kendaraan dibuat 3 sampel benda uji dengan notasi (BK1, BK2, BK3, 2K1, 2K2, 2K3, 3K1, 3K2, 3K3, 4K1, 4K2, 4K3) dengan jumlah benda uji total sebanyak 12 benda uji. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-BC kemudian diuji menggunakan metode marshall untuk mendapatkan nilai dai kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA, *flow*, stabilitas dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kadar ban karet bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit mempengaruhi nilai karakteristik aspal pada pengujian marshall. Semakin bertambahnya kadar ban karet bekas kendaraan, maka akan meningkatkan nilai VIM, VMA, stabilitas dan juga MQ. Sedangkan nilai kepadatan, VFA dan *flow* semakin menurun. Penambahan paling efektif adalah pada kadar 3% dengan kepadatan sebesar 2,23 gr/cc, nilai VIM sebesar 6,62%, nilai VMA 14,61%, nilai VFA sebesar 54,81%, nilai *flow* 3,23 mm, nilai stabilitas 3071,37 kg serta nilai MQ sebesar 954,61 kg/mm. Secara keseluruhan, penambahan ban karet bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit terhadap karakteristik memenuhi Standar Bina Marga 2010.

Kata kunci: aspal, ban karet bekas kendaraan, limbah karbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Ahli Madya Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Tugas Akhir yang penulis buat dengan judul yang diusung *“Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall”*.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir tentunya tidak lepas dari dorongan dan bantuan berbagai pihak, pengujian dan bimbingan yang diperoleh baik melalui pihak terkait menjadi acuan utama disamping buku-buku literatur dan pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan.

Maka dari itu atas selesainya Laporan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Retna Hidayah, ST, MT., Phd, selaku Dosen Pembimbing Akademik
2. Bapak Dian Eksana Wibowo, ST, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan
3. Bapak Ir. Endaryanta, M.T., selaku Dosen Penguji 1 yang telah menguji dan memberi masukan serta bimbingan.
4. Bapak Galeh Nur Indrianto P P M.Pd., selaku Dosen Penguji 2 yang telah menguji dan memberi masukan serta bimbingan.
5. Bapak Drs. Darmono, M.T., selaku Kepala Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Bapak Dr. Ir. Sunar Rochmadi selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
7. Bapak Dr. Widarto, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

8. Bapak Dr. Slamet Widodo, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
9. Bapak Kimin Triyono, S.Pd,T, selaku Petugas Laboratorium Bahan Bangunan.
10. Ayah dan Ibu tercinta yang telah memberikan dorongan serta motivasi dalam berbagai keadaan dan doa tulus ikhlas untuk penulis.
11. Teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dan memberikan semangat dalam pelaksanaan Tugas Akhir.

Akhir kata penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan pada masa mendatang. Penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak pembaca.

Yogyakarta, 3 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
ABSTAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
G. Keaslian Gagasan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Perkerasan Jalan.....	8
B. Lapis Aspal Beton (Laston).....	9
C. Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton.....	9
Agregat.....	13
Aspal.....	16
D. Gradasi Agregat.....	17
E. Bahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan Bermotor.....	19
1. Pengertian.....	19
2. Kandungan Ban Dalam Bekas Kendaraan.....	20
3. Karakteristik Ban Dalam Bekas Kendaraan.....	21

F. Metode Pengujian Marshall.....	27
G. Pengaruh Penambahan Bahan pada Laston AC-BC.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
A. Metode dan Desain Penelitian.....	28
B. Variabel Penelitian.....	30
C. Diagram Penelitian.....	31
1. Alat Pengujian Aspal.....	32
2. Alat-alat Pengujian Titik Lembek.....	36
3. Alat-alat Pengujian Titik Nyala dan Bakar.....	40
4. Alat-alat Pengujian Berat Jenis Aspal.....	43
5. Alat pengujian Agregat.....	43
6. Alat pembuat benda uji.....	43
D. Bahan Penelitian.....	46
E. Tahap-tahap Penelitian.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
A. Pengujian Aspal.....	55
B. Pengujian Agregat.....	56
C. Pengujian Filler.....	59
D. Pengujian Marshall.....	59
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	69
A. Simpulan.....	69
B. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur perkerasan jalan lentur	8
Gambar 2. <i>Flowchart</i> hubungan variabel penelitian.....	30
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4. Penetrometer.....	33
Gambar 5. Jarum Penetrasi.....	34
Gambar 6. Cawan.....	34
Gambar 7. Termometer.....	34
Gambar 8. <i>Stopwatch</i>	35
Gambar 9. Bola Baja.....	36
Gambar 10. Cincin Kuningan.....	36
Gambar 11. Termometer.....	37
Gambar 12. Dudukan Benda Uji.....	37
Gambar 13. Kompor.....	38
Gambar 14. Kawat Kassa.....	39
Gambar 15. Tabung Ukur.....	39
Gambar 16. Penjepit.....	40
Gambar 17. Nyala Pengujii.....	40
Gambar 18. Tongkat Sumbu.....	41
Gambar 19. Penjepit Termometer.....	42
Gambar 20. <i>Cleveland Open Cup</i>	42
Gambar 21. Neraca Ohauss.....	43
Gambar 22. <i>Mould</i>	44
Gambar 23. Penumbuk Benda Uji.....	44
Gambar 24. Alat Pengeluar Benda Uji.....	45
Gambar 25. Bak Pengaduk (<i>Hooper</i>).....	45
Gambar 26. Aspal.....	46
Gambar 27. Agregat kasar.....	46
Gambar 28. Agregat halus.....	47
Gambar 29. Limbah karbit.....	47
Gambar 30. Limbah ban dalam bekas kendaraan.....	48

Gambar 31. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan kepadatan.....	62
Gambar 32. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VIM.....	63
Gambar 33. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VMA.....	64
Gambar 34. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VFA.....	65
Gambar 35. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan <i>Flow</i>	66
Gambar 36. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan Stabilitas.....	68
Gambar 37. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan MQ.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku.....	9
Tabel 2. Ketentuan sifat-sifat campuran laston yang dimodifikasi (AC Mod). .	13
Tabel 3. Ketentuan pengujian agregat kasar.....	14
Tabel 4. Ketentuan pengujian agregat halus.....	15
Tabel 5. Persyaratan mineral <i>filler</i>	15
Tabel 6. Ukuran butir agregat.....	18
Tabel 7. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal.....	19
Tabel 8. Kandungan Ban (Kanury, 1982).....	20
Tabel 9. Faktor koreksi stabilitas.....	26
Tabel 10. Jenis Nilai Pengujian.....	29
Tabel 11. Kode notasi dan jumlah benda uji.....	29
Tabel 12. Acuan Pengujian Aspal.....	49
Tabel 13. Acuan Pengujian Agregat Kasar.....	49
Tabel 14. Acuan Pengujian Agregat Halus.....	49
Tabel 15. Acuan Pengujian <i>Filler</i>	50
Tabel 16. Persentase Komposisi Bahan Campuran Benda Uji.....	50
Tabel 17. Berat Komposisi Bahan Campuran Benda Uji.....	51
Tabel 18. Data Komposisi Berat Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal.	51
Tabel 19. Hasil pengujian aspal.....	57
Tabel 20. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan 1.....	59
Tabel 21. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan 2.....	59
Tabel 22. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.....	60
Tabel 23. Hasil pengujian berat jenis <i>filler</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Penetrasi.....	74
Lampiran 2. Pengujian Titik Lembek Aspal.....	75
Lampiran 3. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal.....	78
Lampiran 4. Pengujian Berat Jenis Aspal.....	79
Lampiran 5. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	81
Lampiran 6. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	83
Lampiran 7. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.....	86
Lampiran 8. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air <i>filler</i>	89
Lampiran 9. Dokumentasi.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi merupakan salah satu pendukung dalam perkembangan Negara Indonesia. Penyediaan sarana dan prasarana transportasi darat dalam hal ini adalah jalan raya yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kemajuan suatu bangsa. Jalan memegang peranan penting dalam kehidupan, oleh karena itu pembangunan dan pemeliharaannya harus benar-benar diperhatikan. Pada kenyataannya banyak ditemui jalan-jalan yang kurang memenuhi syarat atau kualitas aspal yang rendah, sehingga mudah rusak karena kurang mampu menahan beban, cuaca, dan lain-lain. Beberapa jalan dengan kondisi buruk, misalnya Jalan Hayam Wuruk, Jalan Gadjah Mada, dan Jalan Pramuka di tahun 2014. Yogyakarta memiliki beberapa titik jalan dengan kualitas proyek aspal jalan yang rendah dan dengan pertumbuhan kendaraan yang semakin pesat tanpa diimbangi dengan peningkatan prasarana jalan dan kualitas aspal yang baik akan mengakibatkan umur jalan menjadi semakin pendek (Kompas, 2014).

Sesuai dengan UU No 38 Tahun 2004, jalan yang merupakan unsur yang paling penting dalam pengembangan kehidupan berbangsa harus selalu diperhatikan akan kerusakannya. Kerusakan jalan raya dapat memberikan dampak buruk bagi masyarakat maupun pemerintah. Kerusakan yang terjadi pada jalan raya dapat menyebabkan pengendara kurang nyaman dan dapat menimbulkan kecelakaan. Adanya kualitas jalan yang kurang baik dengan ditambahnya jumlah kendaraan yang semakin padat membuat jalan berumur pendek, dan pemerintah akan lebih sering untuk menganggarkan biaya untuk pembuatan infrastruktur.

Usaha yang telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal yang ada saat ini adalah dengan memodifikasi sifat –sifat fisik dan kimia aspal dengan bahan tambah yang bervariasi demi mendapatkan kualitas aspal yang murah dan bagus agar pemerintah dapat menghemat pengeluaran untuk

pembuatan infrastruktur jalan serta memberikan kenyamanan pada masyarakat dan Negara. Aspal beton yang baik tentunya harus memiliki sifat tidak mudah mengelupas dan memiliki nilai perkerasan lentur yang tinggi. Salah satu jenis perkerasan lentur jalan di Indonesia yang digunakan adalah Lapisan Aspal Beton (Laston) karena memiliki sifat-sifat tahan terhadap keausan, kedap air, mempunyai nilai struktural, stabilitas tinggi, mudah pelaksanaannya serta nyaman bagi pengguna jalan.

Jenis limbah lain selain plastik yang sering kali menimbulkan masalah adalah ban bekas kendaraan bermotor. Eropa setiap tahunnya menghasilkan ban bekas sebanyak 2,2 juta ton yang 34,4% diantaranya tak termanfaatkan. Pembuangan limbah ban bekas ke lingkungan dapat menyebabkan polusi lingkungan karena ban tidak terurai secara biologis dalam tanah dan dapat menimbulkan penyakit (Juma, 2006).

Banyak penelitian yang dilakukan untuk menambah daya lekat dan kekentalan aspal diantaranya penggunaan bahan lateks, penggunaan ban dalam bekas kendaraan. Penggunaan bahan tambahan tersebut dapat memberikan kekuatan lebih bagi suatu lapisan permukaan jalan (Faisal dkk, 2014).

Limbah ban dalam bekas kendaraan adalah karet alam yang telah melewati proses pabrikasi dan sudah melewati penambahan campuran-campuran tertentu kemudian dicetak dalam bentuk ban dalam untuk kendaraan bermotor. Ban dalam bekas kendaraan bermotor berasal dari berbagai bahan seperti karet alam, karet sintetik, bahan kimia, karbon hitam dan minyak tertentu. Sifat-sifat karet adalah sendiri adalah kuat, dan lentur atau elastis. Sisa-sisa ban dalam bekas kendaraan ini bisa digunakan sebagai bahan tambahan untuk campuran Laston, diharapkan dengan menambahkan campuran limbah karet ban dalam untuk konstruksi perkerasan jalan pada campuran aspal dapat memberikan banyak keuntungan, diantaranya permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan serta retakan akibat kelelahan bahan,

meningkatkan daya cengkram akibat pengeringan serta mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan.

Nurkhayati Darunifah (2007) menyatakan, ikatan antar agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat semakin kuat sehingga dapat menahan beban lalu lintas yang berat tanpa terjadibleeding, keawetannya meningkat, elastisitas aspal meningkat dan semakin fleksibel limbah ban bekas digunakan sebagai pengganti aspal, namun dalam penelitian ini limbah ban bekas digunakan sebagai pengganti agregat. Kelebihan dari penelitian ini adalah sangat memungkinkan penmanfaatan limbah ban bekas secara optimum. Dengan maksud lain, dapat mengganti peran agregat walaupun kecil serta dapat mengurangi limbah yang ada.

Sisa las karbit melimpah sebagai limbah. Ketersediaan limbah las karbit di Indonesia mudah didapat serta limbah las karbit lebih tahan terhadap perubahan suhu, sehingga lapis permukaan jalan mampu menahan deformasi. Saat ini banyak penelitian tentang aspal modifikasi salah satunya dengan menggunakan bahan polimer, seperti memodifikasi aspal dengan limbah las karbit sebagai bahan tambah yang diharapkan mampu memperbaiki karakteristik aspal.

Limbah karbit adalah pembungan sisa-sisa dari proses penyambungan logam dengan logam (pengelasan) yang menggunakan karbit (gas aseteline = C_2H_2) sebagai bahan bakar. Limbah karbit mengandung sekitar 60% unsur kalsium. Komposisi kimia limbah karbit anrara lain yaitu 1,48% SiO_2 , 59,98% CaO , 0,009% Fe_2O_3 , 9,07% Al_2O_3 , 0,67% MgO dan 28,71% unsur lain (Novita dkk, 2010).

Banyak penelitian yang dilakukan terhadap aspal agar mendapatkan campuran yang memiliki viskositas yang baik dan daya tahan lama. Penulis dalam penelitian ini menambahkan limbah ban dalam bekas kendaraan bermotor sebagai bahan tambah dan filler limbah karbit dengan dibedakan kadar yang ditambahkan untuk benda uji. Kadar limbah ban dalam bekas kendaraan yaitu sebesar 2%, 3%, dan 4%, serta penambahan filler dilakukan

pada masing-masing benda uji sebanyak 5%. Alasan peneliti menggunakan limbah ban dalam bekas kendaraan bermotor karena sifat karet sendiri yang kuat sehingga harapan peneliti dapat menaikan nilai stabilitas (ketahanan) marshall.

Selain menggunakan bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan bermotor, penelitian ini juga menggunakan komposisi filler yang berbeda. *filler* itu merupakan suatu bahan berbutir halus lolos saringan No. 200 (0,075 mm) yang berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengisi rongga-rongga diantara agregat pada campuran aspal beton. Selain itu, penggunaan limbah karbit pada penelitian ini harapnya juga dapat membantu masyarakat untuk memaksimalkan pemanfaatan limbah karbit.

Dari beberapa hal di atas, penulis berinisiatif untuk membuat tugas akhir dengan judul “*Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall*” .

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahanya yaitu :

1. Adanya kualitas aspal jalan yang rendah dan kendaraan bermotor yang semakin padat membuat jalan menjadi berumur pendek.
2. Meningkatnya kebutuhan masyarakat akan kualitas perkerasan jalan yang memiliki nilai viskositas baik.
3. Keberadaan limbah las karbit yang banyak tidak diimbangi dengan pemanfaatan yang maksimal oleh masyarakat yang mengakibatkan pencemaran lingkungan.
4. Adanya limbah ban karet bekas yang tidak termanfaatkan dan melimpah.

C. Batasan Masalah

Guna mempermudah pembahasan penulisan maka penulis memberikan batasan- batasan masalah dalam penulisan ini, diantaranya yaitu:

1. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Program Studi Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar yang lolos ayakan 1,5, 1, 0.75, 0,37, no 4, dan no 8 serta agregat halus dari merapi yang lolos ayakan no 16, 30, 50, 100, dan 200.
3. Gradasi agregat gabungan untuk campuran yang digunakan adalah gradasi tipe laston lapis antara (AC-BC) sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.
4. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah karbit dengan kadar 5% dari berat total agregat masing-masing benda uji.
5. Kadar tambahan limbah ban dalam bekas kendaraan yang digunakan adalah 0%, 2%, 3%, dan 4% dari berat total campuran.
6. Ban karet bekas kendaraan yang digunakan adalah ban dalam sepeda motor yang dipotong-potong menjadi bagian kecil, rata-rata sebesar 1,5mm x 1,5 mm .

D. Rumusan Masalah

Dari batasan masalah di atas maka didapatkan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh dari bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan dan *filler* limbah karbit pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall?
2. Bagaimana pengaruh dari prosentase bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan yaitu sebesar 0%, 2%, 3% dan 4% pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall?

3. Apakah hasil dari pengujian marshall dengan bahan limbah ban dalam bekas kendaraan dan limbah karbit sebagai *filler* sesuai dengan persyaratan bina marga 2010?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dari bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall.
2. Mengetahui pengaruh dari prosentase bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan yaitu sebesar 0%, 2%, 3% dan 4% pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall.
3. Mengungkapkan hasil dari pengujian marshall dengan bahan karet ban dalam kendaraan dan limbah karbit sebagai *filler* sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Secara Teoritis
 - a. Diharapkan dapat memberikan masukan ilmu pengetahuan baru yang sesuai dengan bidang Teknik Sipil khususnya yang berkaitan dengan materi perkerasan jalan dengan penambahan bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan dan filler limbah karbit pada laston (AC-BC).
 - b. Diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan perkerasan jalan atau materi konstruksi jalan.
2. Secara Praktik
 - a. Dengan adanya penelitian ini, maka hasil yang didapatkan bisa menjadi masukan atau solusi untuk menyelesaikan permasalahan ataupun solusi

- sebagai pemanfaatan kembali limbah ban dalam bekas kendaraan dan filler limbah karbit yang sebelumnya belum maksimal dimanfaatkan.
- b. Manfaat terakhir adalah hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk menyelesaikan masalah yang terkait dengan kebutuhan akan inovasi peningkatan kualitas perkerasan jalan menggunakan bahan-bahan alternatif khususnya.

G. Keaslian Gagasan

Proyek akhir yang dibuat penulis dengan judul “*Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall*” dipastikan asli dan belum pernah ada yang mengajukan karya yang serupa di instansi atau lembaga manapun. Untuk karya tulis atau penelitian yang terkait dengan penelitian ini, semuanya dicantumkan di dalam naskah sebagai acuan dan referensi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

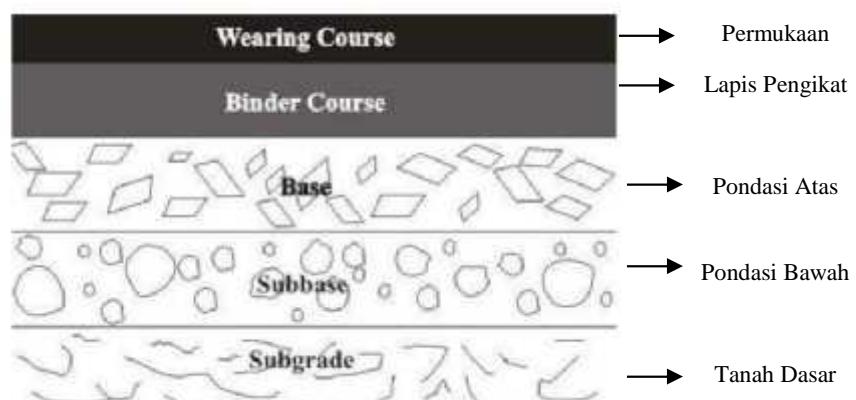
A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapis tambahan yang terletak diantara tanah dan roda kendaraan atau lapis paling atas dari badan jalan. Sukirman (2010) menjelaskan, sejarah perkerasan jalan sudah dimulai bersamaan dengan sejarah umat manusia yang selalu berhasrat untuk memenuhi kebutuhan hidup dan saling berkomunikasi dengan sesama. Sedangkan untuk perkerasan jalan yang menggunakan aspal ditemukan pertama kali di Babylon pada 625 tahun sebelum masehi. Perkerasan jalan ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi yang ditemukan umat manusia.

Sukirman (2010) mengungkapkan, konstruksi perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya dibedakan atas:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri dari 5 lapisan yaitu lapisan permukaan, lapis pengikat, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar. Setiap lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarluaskan beban lalu lintas ke tanah dasar.



Gambar 1. Struktur perkerasan jalan lentur

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Selanjutnya beban lalu lintas akan dipikul oleh pelat beton tersebut.

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

Tabel 1. Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku

No	Jenis Perbedaan	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2.	Repetisi beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3.	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4.	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar.

B. Lapis Aspal Beton (Laston)

Pembuatan LASTON dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan memiliki sifat tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, mempunyai nilai struktural, mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan. Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Sebagai lapis permukaan (lapis aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.
2. Sebagai lapis pengikat dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*.

3. Sebagai lapis pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Base (AC-Base)*.

Suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik tersebut meliputi: stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan dan ketahanan terhadap kelelahan (Sukirman, 2010).

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Stabilitas terjadi dari hasil getaran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi diperlukan agregat yang bergradasi baik, bergradasi rapat dan memberikan rongga antar butiran agregat (*voids in mineral agregat*) yang kecil.

2. Durabilitas

Durabilitas adalah ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai durabilitas dari campuran aspal adalah ketebalan film aspal, nilai VIM dan nilai VMA. Suatu campuran aspal akan memiliki durabilitas yang tinggi jika nilai VIM kecil dan nilai VMA besar.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Faktor-faktor yang membuat campuran aspal memiliki fleksibilitas yang tinggi adalah penggunaan agregat yang bergradasi senjang sehingga nilai VMA besar, penggunaan aspal jenis aspal lunak dan nilai VIM yang kecil.

4. Tahanan Geser (*skid resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan jalan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu keadaan jalan basah maupun diwaktu keadaan jalan sedang kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

5. Ketahanan Kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah nilai VIM dan VMA. Campuran aspal yang memiliki nilai VIM dan VMA yang tinggi akan mempunyai ketahanan kelelahan yang tinggi juga.

6. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi *workability* suatu campuran aspal adalah gradasi agregat, temperatur campuran dan kandungan *filler* dalam campuran.

Sukirman (2010), aspal beton diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu berdasarkan fungsi dan berdasarkan metode pencampuran

1. Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsinya, aspal beton diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda.
- b. Sebagai lapis pondasi atas.
- c. Sebagai lapis pembentuk pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan.

2. Berdasarkan Metode Pencampuran

Berdasarkan metode pencampurannya, aspal beton dapat dibedakan atas:

- a. Aspal beton Amerika, yang bersumber kepada *Asphalt Institut*.

b. Aspal beton durabilitas tinggi, yang bersumber pada BS 594, Inggris, dan dikembangkan oleh CQCMU, Bina Marga Indonesia.

Laston (AC) terdiri dari tiga jenis campuran yaitu laston lapis aus (AC-WC), laston lapis antara (AC-BC) dan laston lapis pondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified* (Departemen Pekerjaan Umum, 2010).

1. AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*)

Asphalt Concrete-Wearing Course merupakan salah satu lapisan dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC, dan AC-Base yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena merupakan lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.

2. AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Asphalt Concrete-Binder Course merupakan lapisan perkerasan jalan yang berada di antara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi atas (AC-Base). Lapisan AC-BC ini berguna untuk menyalurkan atau meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju ke lapisan yang ada di bawahnya. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade*. Karakteristik yang terpenting pada campuran lapisan AC-BC ini adalah stabilitas.

3. AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*)

Asphalt Concrete-Base merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan di atas lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*). Lapisan ini berfungsi untuk memberi dukungan atau menerima

beban kendaraan dari lapisan AC-BC untuk selanjutnya diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

Berikut adalah ketentuan sifat-sifat campuran Laston (AC) sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010:

Tabel 2. Ketentuan sifat-sifat campuran laston yang dimodifikasi (AC Mod)

Sifat-sifat campuran	Lapis aspal beton (laston)		
	Lapis aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0	
	Maks.	1,4	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (%)	Min	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65
Stabilitas marshall (Kg)	Min	1000	2250
Pelelehan (mm)	Min	2	3
	Maks.	4	6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min	2500	

(Sumber : *Spesifikasi umum Bina Marga 2010 divisi 6 perkerasan aspal.*)

C. Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton

Bahan-bahan penyusun campuran lapis aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler*. Dalam proses perancangan perkerasan jalan, bahan penyusun campuran aspal beton menjadi bagian yang diutamakan dalam pertimbangan analisis parameter perancangan. Hal ini karena salah satu parameter kekuatan konstruksi jalan terletak pada pemilihan material penyusun yang tepat (Saodang, 2005). Berikut adalah penjelasan masing-masing bahan penyusun campuran aspal beton:

1. Agregat

Sukirman (2010) mengungkapkan, agregat didefinisikan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Dalam Saodang (2005), Agregat

diklasifikasikan menjadi 2 yaitu berdasarkan sumber didapatnya bahan dan berdasarkan dimensi butiran. Berdasarkan sumber didapatnya bahan, agregat terdiri dari agregat alam yang diperoleh secara alamiah seperti pasir dan kerikil serta agregat buatan yang didapat dari hasil proses pemecahan batu. Berdasarkan dimensi butiran, agregat dibedakan menjadi 3 jenis. Berikut adalah macam-macam dari agregat berdasarkan dimensi butiran:

a. Agregat Kasar

Fannisa H. dan Wahyudi M (2010) berpendapat, agregat kasar adalah jenis agregat yang butirannya tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8) menurut saringan ASTM. Agregat kasar membuat perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara.

Agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton tentunya harus memenuhi ketentuan yang ada. Berikut adalah ketentuan-ketentuan dari agregat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga 2010:

Tabel 3. Ketentuan pengujian agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai (%)
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		SNI 3407:2008	Maks. 12
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6
		500 putaran	Maks. 30
	Campuran aspal bergradasi lain	100 putaran	Maks. 8
		500 putaran	Maks. 40
Kelekatatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791	Maks. 10
Material lolos ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2010 divisi 6 perkerasan aspal 6.3.2)

b. Agregat Halus

Pangestu T. P., (2012) mengungkapkan, agregat halus adalah agregat yang butirannya lolos saringan ukuran 2,36 mm (No. 8) dan tertahan saringan No. 200. Agregat dapat meningkatkan stabilitas

campuran dengan penguncian (*interlocking*) antara butiran. Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antara butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasiralam atau campuran dari keduanya.

Agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Aggregat halus harus memenuhi ketentuan mutu yang ada. Berikut adalah ketentuan-ketentuan mutu untuk agregat halus (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2010):

Tabel 4. Ketentuan pengujian agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai (%)
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60
Angularitas dengan uji kadar	SNI 03-6877-2002	Min 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2010 divisi 6 perkerasan aspal tabel 6.3.2.)

c. Bahan Pengisi (*filler*)

Berikut adalah persyaratan mineral *filler*:

Tabel 5. Persyaratan mineral *filler*

Sifat umum	Kadar air	Max 1%
	Gumpalan partikel	Tidak ada
	Bukaan saringan	% lolos saringan
Gradasi	0,6 mm	100
	0,15 mm	90 – 100
	0,074 mm	70 - 100

(Sumber : Konstruksi Jalan Raya, Saodang H. 2005 Tabel 5.4)

Prameswari (2016) mengungkapkan, bahan pengisi atau *filler* adalah material yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi bahan pengisi (*filler*) adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur (Fannisa H. dan Wahyudi M. 2010). Penambahan kadar *filler* harus dibatasi pada suatu

batas yang menguntungkan karena jika terlalu tinggi kadar *filler*, maka campuran akan menjadi getas dan mudah retak. Saodang (2005), dijelaskan bahwa *filler* juga memiliki persyaratan untuk bisa digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton.

2. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan perkerasan macadam. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (Sukirman, 2010).

Aspal sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume campuran perkerasan jalan.

Saodang (2005), aspal terdiri dari unsur *carbon* (C) sebagai komponen utama \pm 80%, *hidrogen* (H) \pm 10% dan sisanya berupa sulfur (S) yang membentuk berbagai persenyawaan hidrokarbon. Pada konstruksi perkerasan jalan, aspal memiliki fungsi sebagai berikut:

- 1) Sebagai bahan pengikat dengan butiran agregat.
- 2) Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada pada agregat itu sendiri.

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan menjadi 2 yaitu aspal alam dan aspal buatan (Suprapto, 2004).

a. Aspal alam

Aspal alam adalah aspal yang diperoleh karena adanya minyak bumi yang mengalir keluar melalui retak-retak kulit bumi. Setelah minyak menguap, maka tinggal aspal yang melekat pada batuan yang dilalui. Contoh dari aspal ini adalah aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*lake asphalt*).

b. Aspal Buatan

Aspal buatan adalah aspal yang diperoleh dari hasil penyulingan bahan-bahan seperti minyak dan batu bara. contoh dari aspal buatan adalah aspal minyak dan tar. Aspal minyak adalah aspal yang diambil dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal minyak sebagai bahan dasar aspal dapat dibedakan atas aspal keras (*asphalt cement, AC*), aspal dingin (*cut back asphalt*), dan aspal emulsi (*emulsion asphalt*). Aspal keras yaitu aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas dan berbentuk padat pada keadaan penyimpanan, sedangkan aspal dingin adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal emulsi adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi dan dapat digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas (Sukirman, 2010).

D. Gradasi Agregat

Fannisa H. dan Wahyudi M (2010) berpendapat, gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat, baik agregat kasar maupun halus dan dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya. Gradasi ditentukan dengan melewatkannya sejumlah material melalui serangkaian saringan dari ukuran besar ke ukuran kecil dan menimbang berat material yang tertahan pada masing-masing saringan.

Gradasi berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan pori antar butiran menjadi besar. Sebaliknya jika agregat mempunyai ukuran yang bervariasi akan mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit (Sukirman, 2010).

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dengan urutan sesuai penomoran yang ada. Berikut adalah ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002 :

Tabel 6. Ukuran butir agregat			
Ukuran	Bukaan(%)	Ukuran	Bukaan(mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5
3 ½ inch	90	No. 4	4,75
3 inch	75	No. 8	2,36
2 ½ inch	63	No. 16	1,18
2 inch	50	No. 30	0,6
1 ½ inch	37,5	No. 50	0,3
1 inch	25	No. 100	0,15
¾ inch	19	No. 200	0,075
½ inch	12,5		

(Sumber : Perkerasan Lentur Jalan Raya, Sukirman S. 2010)

Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Gradasi Buruk (*poorly graded*)

Gradasi buruk adalah campuran yang tidak memenuhi kategori gradasi seragam dan rapat. Gradasi ini biasanya dipakai untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah, dimana berupa campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali (Sukirman, 1999). Saodang (2005) menjelaskan, gradasi yang jelek mengakibatkan kepadatan rendah dan stabilitas kecil karena kondisi kontak butir agregat buruk.

2. Gradasi Seragam (*uniform graded*)

Sukirman (1999), gradasi seragam adalah gradasi dengan agregat yang mempunyai ukuran hampir sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam dari komposisi butiran akan menghasilkan suatu kepadatan yang bervariasi akibat kontak butir sebagian, sedang stabilitas tergantung pada sifat penyekatan (*confined*), (Saodang, 2005).

3. Gradasi Rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga disebut gradasi menerus atau

bergradasi baik (*well graded*) (Prameswari, 2016). Saodang (2005) berpendapat, agregat dengan gradasi baik akan memberikan suatu keadaan kepadatan dan stabilitas yang baik akibat kontak butir yang hampir menyeluruh pada bidang permukaan.

Spesifikasi untuk pencampuran beton aspal yang dikeluakan oleh Bina Marga sesuai dengan ayakan dan jenis dari laston ditentukan berdasarkan table dibawah ini :

Tabel 7. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Laston (AC)		
(Inch)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-
1 1/2 "	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15	6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2)

E. Bahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan Bermotor

1. Pengertian

Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam / karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang seperti pada sabuk tapak, *sidewall*, *carcassply*, dan *innerliner*. Ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintetis diperkuat dengan carbon black yang menyerap minyak encer (Warith, 2006).

2. Kandungan Ban Dalam Bekas Kendaraan

Karet ban memiliki kandungan karet alam 44.32%, campuran *butadiene* 15.24%, minyak aromatik 1.85%, unsur karbon hitam 30.47%, *stearic acid* 1.07%, antioksidan 0.83%, dan sulfur 1.42% (Balaguru dkk, 2011).

Material pendukung yang fungsinya menambah performa ban adalah terdiri dari susunan: karbon, silika, sulfur, akselerator, aktivator, antioksidan, dan tekstil. (Spelman, 1998).

Tabel 8. Kandungan Ban (Kanury, 1982)

Properties	Value
<i>Density (g/m3)</i>	1.1
<i>Conductivity (W/mK)</i>	0.35
<i>Spesific heat (J/kgK)</i>	1417
<i>Pyrolysis temperature</i>	635

Pada proses produksinya, ada 3 jenis karet sintetis yang saat ini digunakan pada ban yaitu :

a. *Styrene*

Merupakan karet sintetis yang sangat populer dikalangan produsen ban. Biasanya dikenal dengan Styrene Butyl Rubber (SBR).

b. *Polybutadiene*

Merupakan karet sintetis tambahan yang mulai digunakan pada ban standar. Karet sintetis jenis ini adalah kemampuannya yang menahan penyerapan panas berlebihan dari sebuah ban.

c. *Halobutyl Rubber*

Karet sintetis yang sering digunakan untuk ban-ban tubless. Unsur halogen yang terkandung didalamnya saling mengikat dengan unsur ban sintetis standar lainnya. Karet sintetis ini menggantikan peran ban dalam (Suloff, 2013).

3. Karakteristik Ban Dalam Bekas Kendaraan

Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat yang dapat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi (Warith, 2006).

F. Metode Pengujian Marshall

Setelah semua benda uji dibuat maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama *Marshall Test*. Pemeriksaan dengan *Marshall Test* pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Hasil pemeriksaannya, Marshall menggunakan prosedure PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T (Sukirman, 2010).

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Setelah dilakukan *Marshall Test* menurut Sukirman (2010), metode marshall akan diperoleh data- data sebagai berikut :

1. Stabilitas yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*).
2. Kelelahan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. *Flow* dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur.
3. VIM yang merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas.
4. VMA yang merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA bersama dengan VIM merupakan indikator dari durabilitas.

Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari parameter-parameter marshall:

a. Berat jenis *bulk* dari total agregat

Setiap masing-masing fraksi dari agregat (agregat kasar, agregat halus dan *filler*) mempunyai nilai berat jenis *bulk* sendiri-sendiri. Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis *bulk* dari total agregat:

$$G_{sbtot} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}}$$

Keterangan :

G_{sbtot} : Berat jenis *bulk* agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

b. Berat jenis semu dari total agregat

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai dari berat jenis semu dari total agregat:

$$G_{satot} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}}$$

Keterangan :

G_{satot} : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu dari masing-masing agregat, (gr/cc)

c. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$$

Keterangan :

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

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

G_{sa} : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

d. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran diperlukan untuk mencari atau menghitung kadar rongga udara dalam campuran. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari berat jenis maksimum campuran:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Keterangan :

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} : Persentase berat total campuran (=100)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

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

G_b : Berat jenis aspal, (gr/cc)

e. Berat jenis *bulk* campuran padat

Berat jenis *bulk* campuran padat dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}}$$

Keterangan :

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

V_{bulk} : Volume campuran setelah pemasakan, (cc)

W_a : Berat di udara, (gr)

f. Kepadatan (*density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{(W_{mssd} - W_{mpw})}$$

Keterangan :

W_m : Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

W_{mssd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr)

W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan, (gr)

g. VIM (*Void in the mix*)

VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3% - 5% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010. Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran, (%)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemasakan, (gr/cc)

G_{mb} : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemasakan, (gr/cc)

h. VMA (*Void In Mineral Aggregate*)

VMA adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimal 14 % sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)

G_{mb} : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemasakan, (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* dari total agregat, (gr/cc)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

i. VFA (*Void Filled With Asphalt*)

VFA merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemasakan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65%. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100$$

Keterangan :

VFA : Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran, (%)

j. Keleahan (*Flow*)

Flow adalah tingkat keleahan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60 °C. Dikarenakan tidak tersedianya alat *flowmeter* di laboratoium, maka nilai flow didapat dari hasil mengurangi rata-rata diameter awal benda uji sebelum pengujian dengan rata-rata diameter benda uji setelah pengujian.

k. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat marshall. Selanjutnya dicocokan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan Ibs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai stabilitas:

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 9. Faktor koreksi stabilitas

Isi benda uji	Tebal benda uji (mm)	Angka korelasi
200 – 213	25,4	5,56
214 – 225	27,0	5,00
226 – 237	28,6	4,55
238 – 250	30,2	4,17
251 – 264	31,8	3,85
265 – 276	33,3	3,57
277 – 289	34,9	3,33
290 – 301	36,5	3,03
302 – 316	38,1	2,78
317 – 328	39,7	2,50
329 – 340	41,3	2,27
341 – 353	42,9	2,08
354 – 367	44,4	1,92
368 – 379	46,0	1,79
380 – 392	47,6	1,67
393 – 405	49,2	1,56
406 – 420	50,8	1,47
421 – 431	52,4	1,39
432 – 443	54,0	1,32
444 - 456	55,6	1,25
457 - 470	57,2	1,19
471 - 482	58,7	1,14
483 - 495	60,3	1,09
496 - 508	61,9	1,04
509 - 522	63,5	1,00
523 - 535	65,1	0,96
536 - 546	66,7	0,93
547 - 559	68,3	0,89
560 - 573	69,9	0,86
574 - 585	71,4	0,83
586 - 598	73,0	0,81
599 - 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

(Sumber : SNI 06-2489-1991)

1. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan flow.

Nilai *marshall quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. Nilai dari *marshall quotient* diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$MQ = S / F$$

Keterangan :

MQ : Nilai *marshall quotient*, (kg/mm)

S : Nilai stabilitas, (kg)

F : Nilai *flow*, (mm)

G. Pengaruh Penambahan Bahan pada Laston AC-BC

Blima (2017) mengatakan, stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Penambahan aspal diatas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Sedangkan pada Laston dengan penambahan bahan karet membuktikan bahwa semakin banyak penambahan ban bekas cenderung menurunkan nilai stabilitas.

Penambahan bahan tambah pada Laston AC-BC dengan Limbah Logam Cor (Wojo) dan *filler* limbah karbit mempengaruhi nilai karakteristik aspal. Penambahan paling efektif mendekati 5% karena pada saat itu stabilitas marshal tinggi yaitu 3204,54 kg (Faturohim, 2018).

Paramita (2018) mengatakan, penambahan kadar plastik PET dan *filler* limbah karbit mempengaruhi nilai karakteristik aspal. Semakin bertambahnya kadar plastik PET, maka akan meningkatkan nilai VIM, VMA, stabilitas dan juga MQ. Sedangkan nilai kepadatan, VFA dan *flow* semakin menurun. Penambahan paling efektif adalah pada kadar 1% dengan nilai stabilitas 3060,42 kg.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode dan Desain

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan teknik sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Peneliti melakukan eksperimen terhadap variabel terikat yaitu karakteristik marshall dan variabel bebas yaitu penambahan limbah ban dalam bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit pada Laston (AC-BC). Penelitian ini dilakukan pada tanggal 24-29 September 2018.

Tujuan dilakukanya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari limbah ban dalam bekas kendaraan dan limbah karbit terhadap karakteristik aspal dengan menggunakan pengujian marshall. Penelitian ini dibuat benda uji sebanyak 12 benda uji, dimana benda uji yang menggunakan bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan 0% 2 %, 3 %, dan 4 % masing masing dibuat sebanyak 3 benda uji. Sedangkan benda uji yang tidak diberi limbah ban dalam bekas kendaraan juga dibuat sebanyak 3 benda uji. Kemudian untuk penambahan limbah karbit sebagai *filler* pada masing masing benda uji diberi kadar sebanyak 5% dari total agregat campuran aspal.

Proses penelitian ini dilakukan secara bertahap, mulai dari pengujian aspal yaitu untuk mengetahui nilai dari penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala, titik bakar dan titik bakar yang semuanya dilakukan minimal 3 kali untuk mendapatkan data yang akurat. Selanjutnya dilakukan pengujian agregat halus yang lolos saringan 16, 30, 50, 100, dan 200. Serta pengujian agregat kasar yang lolos ayakan 1,5; 1; 0,75; 0,37; no 4, dan no 8. Pengujian ini meliputi analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan air pada agregat. Pengujian terahir yang dilakukan pada proses ini adalah pengujian terhadap campuran aspal menggunakan *marshall test*. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui nilai dari :

Tabel 10. Jenis Nilai Pengujian

Jenis Pengujian
1. Kepadatan (<i>density</i>)
2. VIM (<i>Void in the mix</i>)
3. VMA (<i>Void In Mineral Aggregate</i>)
4. VFA (<i>Void Filled With Asphalt</i>)
5. Peleahan (<i>flow</i>)
6. Stabilitas
7. MQ (<i>marshall quotient</i>)

Penelitian ini juga dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran marshall yang telah dibuat, baik yang menggunakan bahan tambah berupa limbah ban dalam bekas kendaraan dan limbah karbit sebagai filler maupun tidak menggunakan bahan tambah.

Berikut ini adalah cara untuk menentukan jumlah benda uji dari masing-masing variabel bebas yaitu:

Tabel 11. Kode notasi dan jumlah benda uji

No.	Notasi benda uji	Jumlah
1.	BK1	1
2.	BK2	1
3.	BK3	1
4.	2K1	1
5.	2K2	1
6.	2K3	1
7.	3K1	1
8.	3K2	1
9.	3K3	1
10.	4K1	1
11.	4K2	1
12.	4K3	1
Jumlah		12

Keterangan :

BK = Benda uji kontrol kadar limbah ban dalam bekas kendaraan 0%

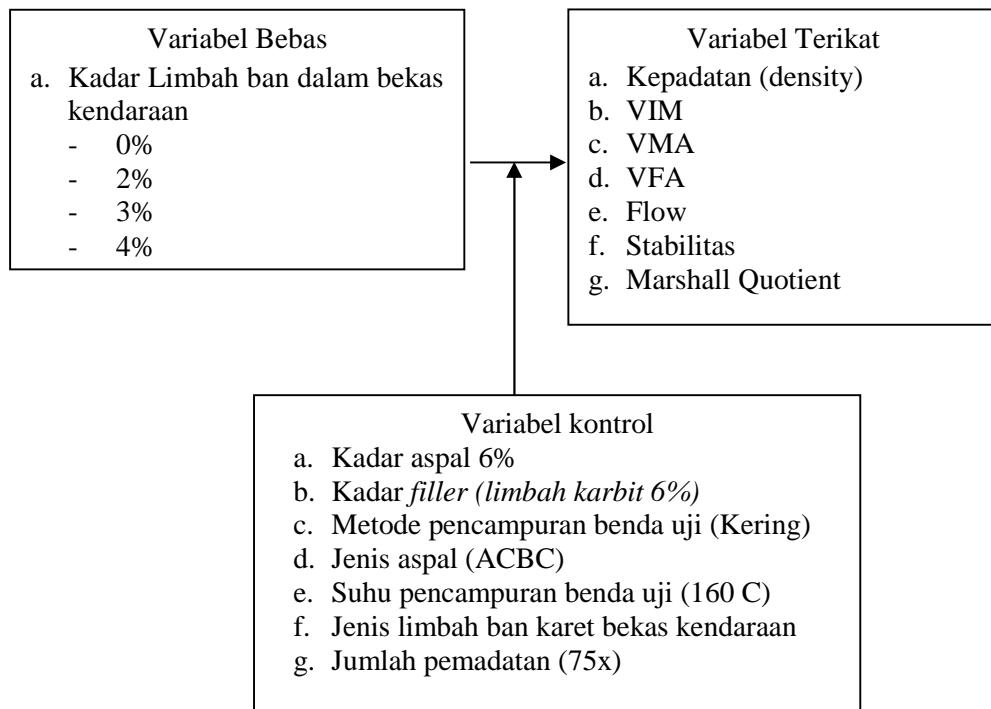
1B = Benda uji dengan kadar limbah ban dalam bekas kendaraan 2%

2B = Benda uji dengan kadar limbah ban dalam bekas kendaraan 3%

3B = Benda uji dengan kadar limbah ban dalam bekas kendaraan 4%

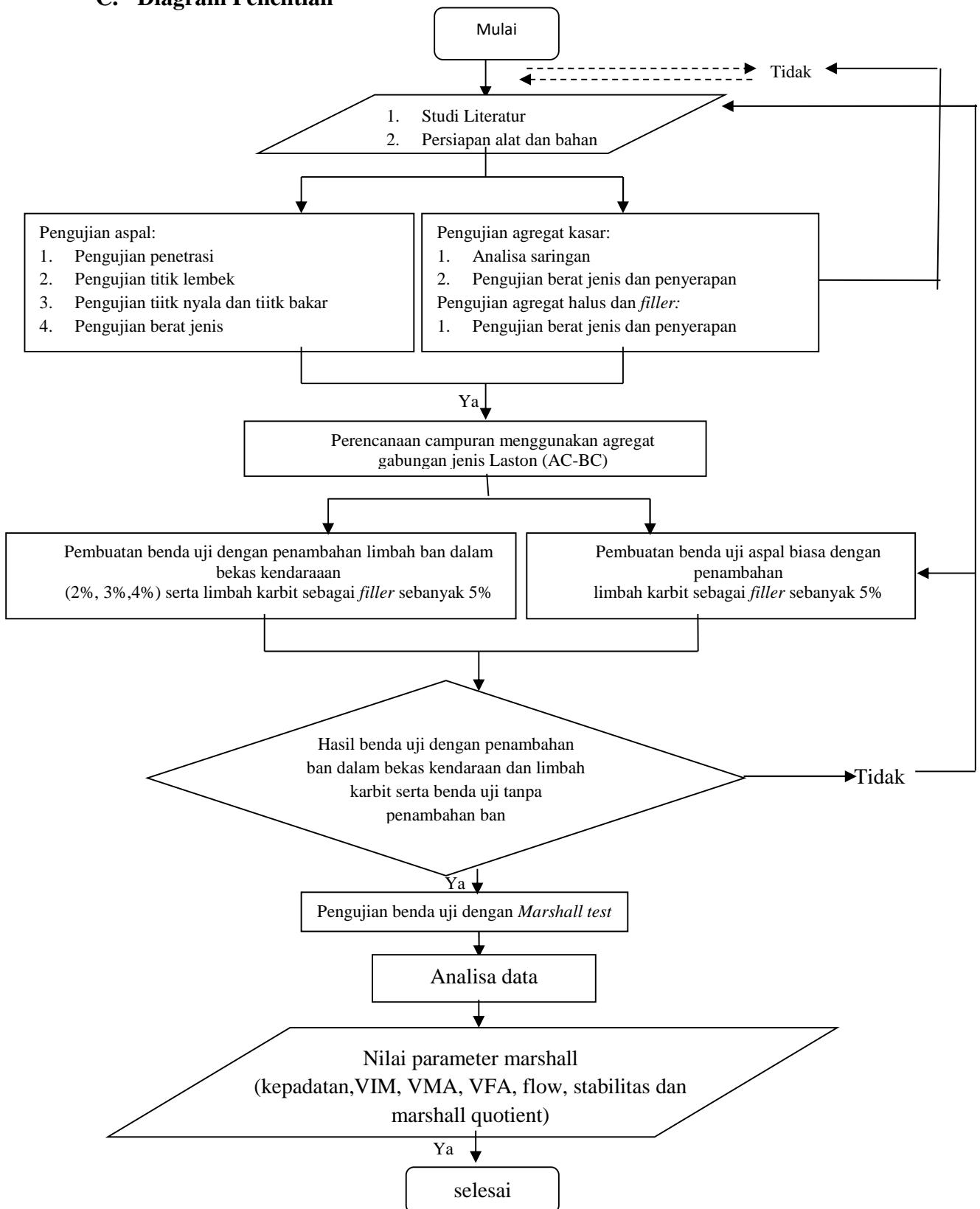
B. Variabel Penelitian

Sugiyono (2006), variabel penelitian dibedakan menjadi 3 jenis yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Pada setiap variabel memiliki hubungan satu dengan yang lain. Berikut ini adalah hubungan antar ketiga variable yang dilakukan peneliti dalam melakukan eksperimen yaitu:



Gambar 2. *Flowchart* hubungan variabel penelitian

C. Diagram Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

D. Alat Pengujian Aspal

Alat penelitian adalah semua benda yang digunakan untuk menunjang dalam pelaksanaan proses penelitian. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Alat yang digunakan dalam pengujian aspal meliputi satu set alat pengujian penetrasi, pengujian titik nyala dan bakar, titik lembek, serta satu set alat pengujian berat jenis aspal.

1. Alat-alat Pengujian Penetrasi Aspal

a. Penetrometer

Penetrometer adalah alat yang digunakan dalam pengujian penetrasi aspal. Pada alat ini terdapat jarum yang digunakan untuk menusuk aspal padat untuk mengukur nilai penentrasinya. Untuk menguji nilai penetrasi aspal, tombol pada sebelah atas jarum ditekan agar jarum dapat turun. Nilai penetrasi aspal akan ditunjukkan oleh jarum penunjuk angka pada arloji penetrasi bagian atas.

Penetrometer yang dapat melepas pemegang jarum untuk bergerak secara vertikal tanpa gesekan dan dapat menunjukkan kedalaman masuknya jarum kedalam benda uji sampai 0,1 mm terdekat. Berat pemegang jarum 47,5 gram \pm 0,05 gram. Berat total pemegang jarum beserta jarum 50 gram \pm 0,05 gram. Pemegang jarum harus mudah dilepas dari penetrometer untuk keperluan pengecekan berat. Penetrometer harus dilengkapi dengan *waterpass* untuk memastikan posisi jarum tegak (90°) ke permukaan. Berat beban 50 gram \pm 0,05 gram dan 100 gram \pm 0,05 gram sehingga dapat digunakan untuk mengukur penetrasi dengan berat total 100 gram atau 200 gram sesuai dengan kondisi pengujian yang diinginkan (RSNI 06-2456-1991).



Gambar 4. Penetrometer

b. Jarum penetrasi

Jarum penetrasi harus terbuat dari *stainless steel* dan dari bahan yang kuat, *Grade 440-C* atau yang setara, HRC 54 sampai 60. Jarum standar memiliki panjang sekitar 50 mm sedangkan jarum panjang memiliki panjang sekitar 60 mm (2,4 inch). Diameter jarum antara 1,00 mm sampai dengan 1,02 mm. Ujung jarum berupa kerucut terpancung dengan sudut antara 8,7° dan 9,7°. Ujung jarum harus terletak satu garis dengan permukaan yang lurus tidak boleh melebihi 0,2 mm. Diameter ujung keucut terpancung 0,14 mm sampai 0,16 mm dan terpusat terhadap sumbu jarum. Ujung jarum harus runcing, tajam dan halus. Panjang bagian jarum standar yang tampak harus antara 40 sampai 45 mm sedangkan untuk jarum panjang antara 50 mm hingga 55 mm (1,97 inch hingga 2,17 inch). Berat jarum harus $2,50 \text{ gram} \pm 0,05 \text{ gram}$. Jarum penetrasi yang akan digunakan untuk pengujian mutu aspal harus memenuhi kriteria tersebut diatas disertai dengan hasil pengujian dari pihak yang berwenang (RSNI 06-2456-1991).



Gambar 5. Jarum Penetrasi

c. Cawan

Cawan berfungsi sebagai wadah aspal padat. Cawan ini berbentuk setengah tabung yang berbahan alumunium.



Gambar 6. Cawan

d. Termometer

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu. Dalam pengujian ini, termometer digunakan untuk mengukur suhu aspal padat yang akan diuji penetrasinya.



Gambar 7. Termometer

e. Baskom

Baskom mangkuk seng berfungsi sebagai wadah air es yang digunakan untuk menurunkan suhu aspal.

f. Kain lap

Kain lap dibutuhkan dalam praktikum ini, yaitu untuk membersihkan cawan, termometer dan meja yang terkena aspal yang menempel maupun air yang tumpah.

g. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu ketika proses penetrasi.



Gambar 8. *Stopwatch*

2. Alat-alat Pengujian Titik Lembek

a. Bola Baja

Pengujian titik lembek aspal ini membutuhkan dua buah bola baja. Bola baja yang digunakan dalam pengujian ini harus memiliki spesifikasi diameter 9,3 mm, berat antara 3,45 gram hingga 3,55 gram.



Gambar 9. Bola Baja

b. Cincin Kuningan

Cincin kuningan berbentuk seperti bola baja, dalam pengujian titik lembek aspal ini membutuhkan dua buah cincin kuningan. Cincin kuningan ini berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan aspal yang akan diuji.



Gambar 10. Cincin Kuningan

c. Termometer

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu. Pengujian ini, termometer digunakan untuk mengukur suhu aspal padat yang akan diuji penetrasinya.



Gambar 11. Termometer

d. Dudukan benda uji

Dudukan benda uji merupakan alat yang digunakan untuk meletakkan benda uji yang telah diletakkan dalam cincin kuningan. Dudukan benda uji ini dilengkapi dengan tempat untuk menaruh benda uji (cincin kuningan yang telah berisi aspal) yang berlubang pada bagian tempat meletakkan cincin kuningan dan dilengkapi dengan plat dasar dengan jarak tertentu yang digunakan untuk menahan bola baja ketika jatuh.



Gambar 12. Dudukan Benda Uji

e. Kompor listrik

Kompor listrik merupakan kompor yang dalam penggunaannya membutuhkan energi dari listrik. Proses pengujian titik lembek ini, kompor digunakan untuk memanaskan benda uji yang sedang diuji.



Gambar 13. Kompor

f. Kain lap

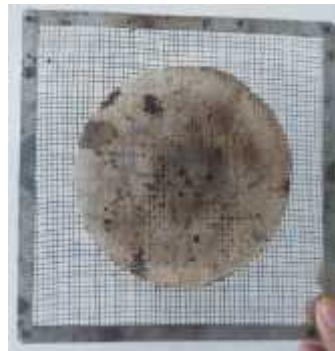
Kain lap dibutuhkan dalam praktikum ini, yaitu untuk membersihkan cincin kuningan, bola baja, termometer dan meja yang terkena aspal yang menempel maupun air yang tumpah.

g. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu ketika proses pengujian titik lembek aspal.

h. Kawat kassa

Kawat kassa digunakan sebagai alas tabung ukur ketika dalam proses pemanasan. Hal ini bertujuan agar tabung ukur tidak bersinggungan langsung dengan kompor sehingga pertambahan panas tidak terlalu banyak dan tidak menyebabkan tabung ukur pecah.



Gambar 14. Kawat Kassa

i. Piring seng

Pengujian titik lembek aspal ini, piring seng digunakan sebagai alas ketika menuangkan aspal cair ke dalam cincin kuningan dan sebagai tempat untuk merendam aspal yang telah dituangkan ke dalam cincin kuningan.

j. Tabung ukur

Pengujian ini, tabung ukur digunakan sebagai wadah yang berisi air es untuk merendam aspal yang diletakkan dalam dudukan benda uji.



Gambar 15. Tabung Ukur

k. Sendok

Sendok berfungsi sebagai pengaduk aspal ketika proses pemanasan aspal. Sendok yang digunakan dalam pengujian ini berbahan alumunium.

1. Penjepit

Penjepit digunakan untuk mengangkat benda yang panas.



Gambar 16. Penjepit

3. Alat-alat Pengujian Titik Nyala dan Bakar

a. Nyala penguji

Nyala penguji digunakan sebagai sumber api agar mempermudah proses penggunaan api pada saat pengujian.



Gambar 17. Nyala Penguji

b. Tongkat Sumbu

Tongkat sumbu digunakan untuk menghantarkan api dari nyala penguji yang selanjutnya dilewatkan diatas permukaan aspal.



Gambar 18. Tongkat Sumbu

c. Termometer

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu. Dalam pengujian titik nyala dan bakar aspal ini, termometer digunakan untuk mengukur suhu aspal ketika dipanaskan. Termometer yang digunakan dalam pengujian ini adalah termometer yang dapat mengukur suhu lebih dari 300°C.

d. Kompor Listrik

Kompor listrik merupakan kompor yang dalam penggunaannya membutuhkan energi dari listrik. Dalam proses pengujian titik nyala dan titik bakar aspal ini, kompor digunakan untuk memanaskan aspal.

e. Kain Lap

Kain lap dibutuhkan dalam praktikum titik nyala dan titik bakar aspal ini, yaitu untuk membersihkan termometer dan meja yang terkena aspal.

f. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu ketika proses pengujian titik nyala dan bakar aspal.

g. Penjepit Termometer

Penjepit termometer digunakan untuk menjepit termometr yang digunakan untuk mengukur suhu aspal ketika dipanaskan.



Gambar 19. Penjepit Termometer

h. *Cleveland Open Cup*

Cleveland open cup merupakan cawan yang digunakan sebagai wadah aspal yang akan dipanaskan. *Cleveland open cup* berbentuk seperti cawan yang dilengkapi dengan pegangan yang berfungsi untuk mengangkat *cleveland open cup* ketika masih panas.



Gambar 20. *Cleveland Open Cup*

i. Korek Api

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal ini, korek api digunakan untuk menyalaikan sumbu pada nyala penguji.

4. Alat-alat Pengujian Berat Jenis Aspal

a. Neraca *Ohauss*

Neraca *Ohauss* adalah alat ukur massa benda dengan ketelitian 0,01 gram. Prinsip kerja neraca ini adalah sekedar membanding massa benda yang akan dikur dengan anak timbangan.



Gambar 21. Neraca Ohauss

5. Alat pengujian Agregat

a. Satu set alat pengujian analisa saringan

1) Satu set saringan

Satu set saringan adalah saringan dengan ukuran 37,5 mm (3"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,600 mm (No. 30); 0,300 mm (No. 50); 0,150 mm (No. 100); 0,075 mm (No. 200). Semua saringan disusun secara berurutan mulai dari yang terkecil di posisi paling bawah sampai ukuran terbesar di posisi paling atas.

b. Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan

Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan berupa oven, timbangan, piring seng, alat uji SSD (*Saturated Surface Dry*) dan gelas ukur.

6. Alat pembuat benda uji

Alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji meliputi cetakan benda uji (*mould*), pengeluar benda uji, penumbuk

benda uji beserta landasan penumbukan, kompor listrik, termometer, bak pencampur bahan, piring, kertas penyaring, spatula dan sarung tangan.

a. *Mould*

Mould atau alat cetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,2 cm dengan tinggi 7,62 cm. *Mould* yang digunakan berjumlah 2 buah dan berfungsi sebagai cetakan benda uji.



Gambar 22. *Mould*

b. Alat penumbuk benda uji beserta landasan penumbukan

Alat penumbuk benda uji mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. Dalam penumbukan benda uji juga dilengkapi dengan landasan pematat yang terdiri dari pelat baja berbentuk persegi dengan ukuran 20,32 x 20,32 cm dan tebal sekitar 3 cm.



Gambar 23. Penumbuk Benda Uji

c. Alat pengeluar benda uji

Alat pengeluar benda uji berfungsi untuk mengeluarkan benda uji dari dalam cetakan yang sudah dipadatkan.



Gambar 24. Alat Pengeluar Benda Uji

d. Bak pengaduk (*Hooper*)

Bak pengaduk ini terbuat dari logam seng berbentuk balok dengan ukuran kira-kira panjang 30 cm, lebar 20 cm dan kedalaman sekitar 10-15 cm. Bak ini berfungsi sebagai wadah untuk memanasi dan mencampur bahan-bahan campuran benda uji secara keseluruhan seperti aspal dan agregat hingga mencapai suhu maksimum pencampuran yang sudah ditentukan.



Gambar 25. Bak Pengaduk (*Hooper*)

e. Alat pengujian benda uji dengan metode *marshall*

Alat untuk melakukan pengujian *marshall* terhadap benda uji meliputi alat *marshall test*, bak perendam, termometer, kompor listrik, sarung tangan dan lain-lain.

- 1) *Marshall test* lengkap dengan kepala penekan dan cincin penguji.

D. Bahan Penelitian

Bahan dalam suatu pengujian dibedakan menjadi dua, yakni bahan yang akan diuji dan bahan penunjang sebagai bahan yang menunjang proses pengujian. Bahan pengujian dalam praktikum ini adalah aspal, sedangkan bahan penunjangnya yaitu agregat halus, agregat kasar, limbah karbit, ban dalam bekas, dan minyak tanah.

1. Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal Pertamina *Penetration* : 60/70 berasal dari PT. SAK Kulonprogo Yogyakarta Indonesia



Gambar 26. Aspal

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang diperoleh dari Gunung Merapi di Sleman Yogyakarta.



Gambar 27. Agregat kasar

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang diperoleh dari Gunung Merapi di Sleman Yogyakarta.



Gambar 28. Agregat halus

4. Limbah Karbit

Limbah karbit yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Klaten Jawa Tengah Indonesia dan digunakan sebagai pengganti *filler*.



Gambar 29. Limbah karbit

5. Limbah ban dalam bekas kendaraan

Limbah ban dalam bekas kendaraan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Yogyakarta Indonesia. Ban bekas kendaraan dipotong dengan ukuran 1,5mm x 1,5 mm.



Gambar 30. Limbah ban dalam bekas kendaraan

6. Minyak Tanah

Minyak tanah berfungsi sebagai pembersih alat-alat yang terkena aspal setelah pengujian.

E. Tahap-tahap Penelitian

Tahap-tahap penelitian yang dilaksanakan sesuai dengan diagram penelitian, yaitu:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan ialah menggunakan alat yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, sedangkan untuk bahan agregat kasar maupun agregat halus dibeli dari toko bahan bangunan. Selanjutnya untuk *filler* limbah karbit dibeli dari Klaten Jawa Tengah. Aspal yang digunakan diperolah dari PT.SAK, Kulonprogo Yogyakarta. Semua alat dan bahan dipersiapkan dan dicek kondisinya sebelum digunakan di laboratorium.

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian Aspal meliputi pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, pengujian titik nyala dan bakar, serta pengujian berat jenis aspal. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ketentuan SNI.

Tabel 12. Acuan Pengujian Aspal

No.	Jenis pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min.	Maks.	
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	50	-	mm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	53	-	°C
3.	Titik nyala dantitik bakar	SNI 06-2433-1991	232	-	°C
4.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1,0	-	gr/cc

b. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar meliputi pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air. Acuan yang digunakan dalam pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel 10. Acuan Pengujian Agregat Kasar.

Tabel 13. Acuan Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min.	Maks.	
1.	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990	-	-	-
2.	Berat jenis	SNI 03-1969-1990	2,5	-	gr/cc
3.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	-	3	%

c. Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air. Pada tabel 11 dapat dilihat mengenai acuan yang digunakan dalam pengujian agregat halus.

Tabel 14. Acuan Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min.	Maks.	
1.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	2,5	-	gr/cc
2.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	-	3	%

d. Pengujian *Filler*

Pengujian *filler* meliputi pengujian berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu. Untuk acuan yang digunakan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan *filler* menggunakan AASHTO T-89-81 yang dapat dilihat pada berikut ini:

Tabel 15. Acuan Pengujian *Filler*

No.	Jenis pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min.	Maks.	
1.	Berat jenis	AASHTO T-89-81	-	-	gr/cc

3. Perencanaan Campuran

Urutan proses atau dapat disebut tahapan dalam menentukan campuran benda uji adalah sebagai berikut:

- Menentukan kadar bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan roda dua masing-masing benda uji yaitu sebanyak 0%, 2%, 3% dan 4% dari berat total campuran.
- Menentukan kadar *filler* limbah karbit masing-masing benda uji sebanyak 5% dari berat total agregat sesuai dengan acuan penelitian yang digunakan (AASHTO T-89-81)
- Menentukan kadar aspal masing-masing benda uji yaitu sebesar 6% dari berat total campuran sesuai dengan acuan penelitian.
- Menentukan jenis gradasi agregat gabungan untuk campuran, yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi agregat gabungan jenis AC-BC dan memakai batas tengah dari tiap-tiap prosentase lolos saringan.
- Menghitung kebutuhan berat bahan untuk masing-masing benda uji sesuai dengan variasi yang sudah direncanakan. Data komposisi bahan campuran masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel 13 hingga tabel 15.

Tabel 16. Persentase Komposisi Bahan Campuran Benda Uji

No.	Kadar	Kadar	Kadar	Kadar	Kapasitas
	karet ban (%)	aspal (%)	agregat (%)	<i>filler</i> (%)	<i>mould</i> (%)
1.	0	6	94	5	100
2.	2	6	92	5	100
3.	3	6	91	5	100
4.	4	6	90	5	100

Tabel 17. Berat Komposisi Bahan Campuran Benda Uji

No.	Berat karet ban (gr)	Berat aspal (gr)	Berat agregat (gr)	Berat <i>filler</i> (gr)	Kapasitas <i>mould</i> (gr)
1.	0	72	1128	56,4	1200
2.	24	72	1104	55,2	1200
3.	36	72	1092	54,6	1200
4.	48	72	1080	54	1200

Tabel 18. Data Komposisi Berat Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ayakan (inch)	Berat tertahan (%)	karet ban 0% (gr)	karet ban 2% (gr)	karet ban 3% (gr)	karet ban 4% (gr)
1,5	-	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
0,75	5	56,4	55,2	54,6	54
0,5	14	157,92	154,56	152,88	151,2
0,37	7	78,96	77,28	76,44	75,6
No. 4	19	214,32	209,76	207,48	205,2
No. 8	15,5	174,84	171,12	169,26	167,4
No. 16	14,5	163,56	160,08	158,34	156,6
No. 30	5	56,4	55,2	54,6	54
No. 50	6,5	73,32	71,76	70,98	70,2
No. 100	4,5	50,76	49,68	49,14	48,6
No. 200	4	45,12	44,16	43,68	43,2
pen	5	56,4	55,2	54,6	54
Jumlah	100	1128	1104	1092	1080

4. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan semua bahan benda uji seperti aspal, agregat kasar, agregat halus, *filler* dan bahan tambah limbah karet ban dalam

- kendaraan roda dua yang sudah tersusun rapi dalam bungkus plastik sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan.
- b. Menyiapkan semua peralatan pembuatan benda uji yang dibutuhkan di laboratorium.
 - c. Memanaskan aspal dan bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan roda sampai suhu aspal mencapai 110°C sebelum dicampur dengan agregat.
 - d. Memanaskan agregat beserta *filler* sambil diaduk-aduk sampai suhu mencapai 120°C.
 - e. Setelah semua bahan mencapai suhu yang sudah ditentukan, kemudian dilakukan pencampuran antara aspal dan agregat. Semua bahan diaduk-aduk sampai tercampur secara merata. Suhu maksimal pencampuran bahan ditetapkan sekitar 160°C.
 - f. Menyiapkan cetakan benda uji (*mould*) lengkap dengan alas cetakan yang sudah diolesi minyak pelumas dan dipanaskan. Lalu langkah selanjutnya memberi kertas penyaring atau lakmus di bagian dasar cetakan atau diatas alas cetakan.
 - g. Memasukkan semua bahan yang sudah dicampur pada suhu maksimal pencampuran ke dalam cetakan sembari ditusuk-tusuk dengan spatula yang sudah dipanaskan sebelumnya. Penusukan dengan alat spatula ini dilakukan dengan prosedur menusuk bagian pinggir dan bagian tengah sebanyak 10 kali.
 - h. Langkah selanjutnya dilakukan penumbukkan benda uji dengan alat penumbuk sebanyak 2 x 75 kali.
 - i. Setelah dilakukan penumbukkan, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji.
 - j. Memberi kode pengenal pada benda uji sesuai dengan kebutuhan agar tidak tertukar-tukar dengan benda uji yang lain.
 - k. Benda uji kemudian didiamkan sampai agak mengeras, kemudian benda uji ditimbang untuk mendapatkan nilai berat benda uji kering.
 - l. Benda uji kemudian direndam selama ± 24 jam.

- m. Setelah benda uji direndam selama ± 24 jam, kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam lalu dibersihkan menggunakan kain lap sampai benda uji dalam keadaan SSD atau dalam keadaan jenuh kering permukaan.
- n. Benda uji kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai berat benda uji SSD (*saturated surface dry*).
- o. Setelah itu, benda uji ditimbang di dalam air untuk mendapatkan nilai berat benda uji dalam air.
- p. Kemudian dilakukan pengujian dengan alat *marshall* terhadap masing-masing benda uji.

5. Pengujian dengan Alat *Marshall*

Pengujian dengan alat marshall dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Benda uji diukur diameter dan tebal sebelum pengujian.
- b. Benda uji lalu direndam dalam bak perendaman dan dipanaskan selama ± 30 menit dengan suhu 60°C .
- c. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan diberi pelumas agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- d. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam lalu meletakkannya tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan. Selanjutnya meletakkan bagian atas kepala penekan dan kemudian meletakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat ditengah alat pembebanan.
- e. Kemudian menaikkan kepala penekan hingga menyentuh alas cincin pengujian. Selanjutnya diatur kedudukan jarum arloji penekan.
- f. Proses pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm per menit, kemudian dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun.
- g. Setelah pengujian selesai, benda uji dikeluarkan dari alat *marshall*.
- h. Benda uji lalu diukur diameter dan tebal setelah pengujian.

6. Analisa dan Pembahasan

Sesuai dengan acuan penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini akan fokus pada pembahasan mengenai pengaruh kualitas dari campuran aspal beton terhadap karakteristik marshall yang meliputi: kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA, pelelehan (*flow*), stabilitas dan MQ (*Marshall Quotient*).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Aspal

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian terhadap aspal yaitu, pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, pengujian titik nyala, pengujian titik bakar dan pengujian berat jenis aspal. Pengujian ini dilakukan di laboratorium bahan Universitas Negeri Yogyakarta dengan menggunakan sistem *duplo*. Sistem *duplo* adalah sistem pengujian dengan cara tiap masing masing jenis pengujian menggunakan benda uji sebanyak 2 buah. Acuan pada pengujian aspal ini adalah SNI sesuai pengujinya. Berikut adalah data dari hasil analisa pengujian aspal:

Tabel 19. Hasil pengujian aspal

No.	Jenis pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min.	Maks.		
1.	Penetrasi	-	-	52,6	mm
2.	Titik lembek	53	-	56,3	°C
3.	Titik nyala	232	-	334	°C
4.	Titik bakar	-	-	367	°C
5.	Berat jenis	1,0	-	1,046	gr/cc

Setelah dilakukan pengujian terhadap aspal yang digunakan dalam penelitian ini, diperoleh data seperti pada tabel di atas. Dari tabel tersebut didapatkan pembahasan sebagai berikut :

1. Pengujian Penetrasi

Pada pengujian penetrasi dilakukan sebanyak 3 kali, diperoleh nilai rata-rata yaitu sebesar 52,6. Berdasarkan nilai tersebut maka dapat disimpulkan bahwa aspal yang dipakai termasuk kedalam jenis aspal penetrasi 40/50. Sesuai dengan ketentuan aspal keras menurut Spesifikasi Bina Marga 2010, aspal ini termasuk ke dalam jenis asbuton yang diproses dan merupakan aspal tipe 2 yang dimodifikasi.

2. Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek ini dilakukan sebanyak 2 kali dan diperoleh data nilai titik lembek aspal adalah sebesar $56,3^{\circ}\text{C}$. Nilai titik lembek aspal ini dapat disimpulkan memenuhi Persyaratan Bina Marga 2010 karena lebih besar dari syarat minimum yaitu sebesar 53°C .

3. Pengujian Titik Nyala

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data nilai titik nyala aspal yaitu sebesar 334°C . Hasil pengujian titik nyala ini dapat disimpulkan memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 karena nilainya lebih besar dari persyaratan minimal yaitu sebesar 232°C .

4. Pengujian Titik Bakar

Dari hasil pengujian diperoleh data untuk titik bakar aspal ini yaitu sebesar 367°C . hasil pengujian ini dinyatakan lolos dari spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 yaitu sebesar 232°C .

5. Pengujian Berat Jenis

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap 2 sampel aspal, diperoleh data nilai rata-rata berat jenis aspal adalah sebesar 1,046 gr/cc. Nilai berat jenis yang diperoleh disimpulkan memenuhi syarat karena nilai minimum berat jenis aspal sesuai dengan Persyaratan Bina Marga 2010 adalah sebesar 1 gr/cc.

B. Pengujian Agregat

Pada pengujian agregat ini dilakukan 3 jenis pengujian yaitu pengujian analisa saringan untuk agregat kasar, sedangkan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan terhadap kedua jenis agregat yaitu agregat kasar dan agregat halus. Semua pengujian dilakukan sesuai SNI. Berikut adalah data hasil pengujian agregat :

Tabel 20. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan 1

Nomor saringan	Berat tertahan	Berat tertahan komulatif	(%) tertahan	(%) lolos
	(gram)	(gram)		
1,5	0	0	0	100
1	69	69	1,38	98,62
0,75	341	410	8,20	91,80
0,5	3415	3825	76,50	23,50
0,37	645	4470	89,40	10,60
No. 4	467	4937	98,74	1,26
No. 8	29,6	4966,6	99,33	0,67
No. 16	4	4970,6	99,41	0,59
No. 30	4,5	4975,1	99,50	0,50
No. 50	8	4983,1	99,66	0,34
No. 100	6,6	4989,7	99,79	0,21
No. 200	6	4995,7	99,91	0,09
Pen	4,3	5000	100	0
Berat contoh		5000 gram		

Tabel 21. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan 2

Nomor saringan	Berat tertahan	Berat tertahan komulatif	(%) tertahan	(%) lolos
	(gram)	(gram)		
1,5	0	0	0	100
1	62	62	1,24	98,76
0,75	373	435	8,70	91,30
0,5	3462	3897	77,94	22,06
0,37	654	4551	91,02	8,98
No. 4	387	4938	98,76	1,24
No. 8	27	4965	99,30	0,70
No. 16	3,1	4968,1	99,36	0,64
No. 30	6,3	4974,4	99,49	0,51
No. 50	6,6	4981	99,62	0,38
No. 100	8,3	4989,3	99,79	0,21
No. 200	7,4	4996,7	99,93	0,07
Pen	3,3	5000	100	0
Berat contoh		5000 gram		

Pengujian analisa saringan dilakukan sebanyak 2 kali percobaan dengan hasil pengujian seperti tabel 18 dan 19. Pada tabel no 19 semua agregat lolos pada saringan no 1,5. Sedangkan untuk agregat yang tertahan saringan no 1 yaitu sebanyak 62 gram atau sebanyak 1,24% dari keseluruhan. Untuk yang lolos ayakan no 1 ini yaitu sebanyak 98,76. Selanjutnya untuk agregat yang tertahan saringan no 0,75 yaitu sebanyak 373 gram atau 8,70% dari keseluruhan agregat kasar. Sedangkan untuk berat tertahan komulatif pada saringan no 0,75 ini adalah sebanyak 483 gr dan sebanyak 91,30 % untuk yang lolos pada saringan ini. Begitu seterusnya.

Tabel 22. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

No.	Agregat	Jenis pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan	
			Min.	Maks.			
1.	Agregat kasar	Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,57	gr/cc	
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,60	gr/cc	
		Berat jenis semu	2,5	-	2,66	gr/cc	
	Agregat halus	Penyerapan	-	3	1,34	%	
2.		Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,54	gr/cc	
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,60	gr/cc	
		Berat jenis semu	2,5	-	2,71	gr/cc	
		Penyerapan	-	3	2,51	%	

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar dan agregat halus. Masing masing berat agregat ini mempunyai 3 jenis yaitu berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil seperti pada tabel 19, yaitu berat jenis *bulk* 2,57 gr/cc, berat jenis SSD 2,60 gr/cc, berat jenis semu 2,66 gr/cc. Dari data tersebut disimpulkan bahwa berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu agregat kasar memenuhi syarat karena persyaratan nilai minimum masing-masing berat jenis adalah sebesar 2,5 gr/cc. selanjutnya untuk nilai dari pengujian penyerapan pada agregat kasar ini adalah sebesar 1,34%.

Dari tabel di atas dapat diliat bahwa pengujian untuk agregat halus juga dilakukan pengujian berat jenis dan pengujian penyerapan air. Pada pengujian ini diperoleh hasil yaitu berat jenis *bulk* sebesar 2,54 gr/cc, berat jenis SSD 2,60 gr/cc, berat jenis semu 2,71 dan penyerapan air sebesar 2,51%. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa nilai berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu agregat halus memenuhi syarat karena persyaratan nilai minimum masing-masing berat jenis adalah sebesar 2,5 gr/cc. Untuk nilai penyerapan air agregat halus sendiri juga memenuhi syarat karena persyaratan nilai maksimum penyerapan air agregat halus adalah sebesar 3%.

C. Pengujian *Filler*

Pengujian *filler* limbah karbit ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu. Berikut adalah data hasil pengujian *filler* :

Tabel 23. Hasil pengujian berat jenis *filler*

No.	Jenis pengujian	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min.	Maks.		
1.	Berat jenis <i>bulk</i>	-	-	1,40	gr/cc
2.	Berat jenis SSD	-	-	1,49	gr/cc
3.	Berat jenis semu	-	-	1,54	gr/cc

Pada *filler* limbah karbit dilakukan pengujian berat jenis, yaitu berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data seperti pada tebel di atas yaitu berat jenis *bulk* 1,40 gr/cc, berat jenis SSD 1,49 gr/cc, dan berat jenis semu 1,54 gr/cc.

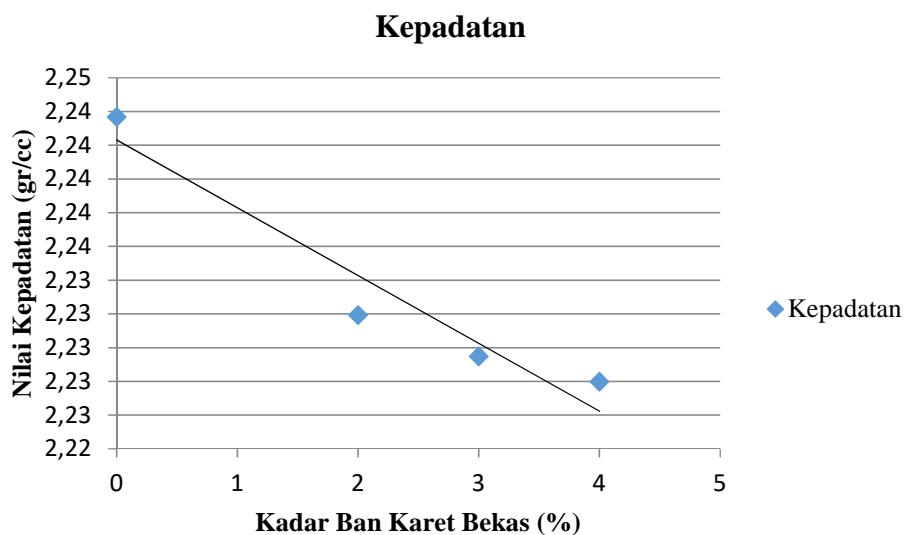
D. Pengujian *Marshall*

Pengujian *marshall* dilakukan menggunakan acuan SNI 06-2489-1991. Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA, peleahan (*flow*), stabilitas dan MQ (*marshall quotient*). Pada penelitian

ini dibuat 12 benda uji dengan setiap benda uji yang menggunakan bahan tambah dibuat sebanyak 3 buah. Berikut ini adalah data hasil pengujian *marshall*:

a. Kepadatan (*density*)

Kepadatan adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunnya dan proses pemasakan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukannya. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah. Berikut ini adalah grafik mengenai hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan kepadatan.



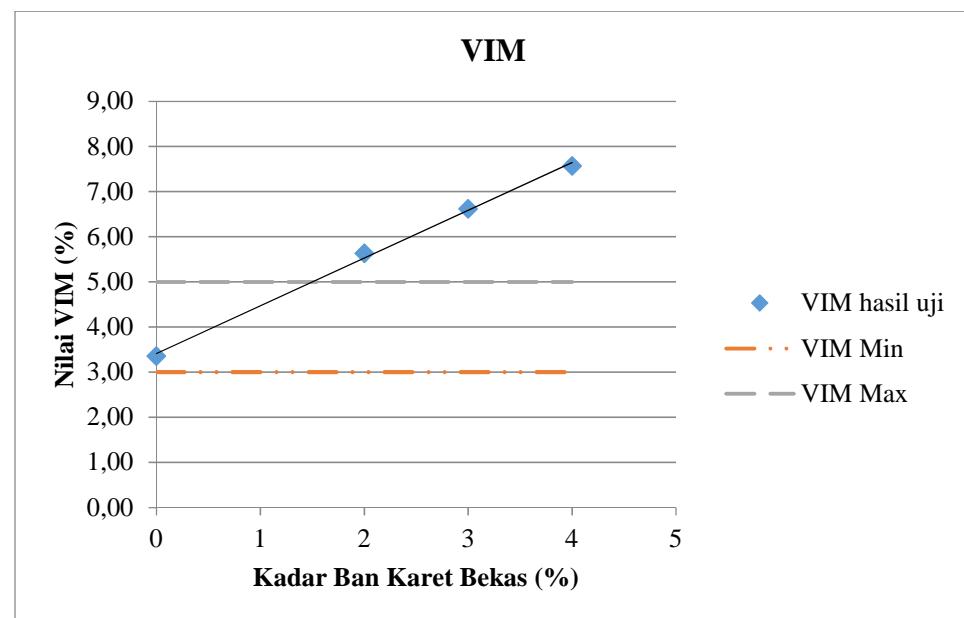
Gambar 31. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan kepadatan

Dari Gambar 31. di atas menunjukkan bahwa penambahan kadar bahan tambah ban karet bekas mempengaruhi nilai kepadatan (*density*). Dimana nilai kepadatan yang menggunakan bahan tambah lebih rendah daripada yang tidak menggunakan bahan tambah.

Nilai kepadatan pada benda uji yang tidak menggunakan bahan tambah sebesar 2,243 gr/cc tertinggi, dengan bahan tambah ban karet bekas 3% sebesar 2,229 gr/cc. Sedangkan pada penambahan ban karet bekas 2% memiliki kepadatan 2,231 gr/cc dan 4% didapatkan nilai kepadatan sebesar 2,227 gr/cc.

b. VIM (*void in mix*)

VIM merupakan rongga udara dalam campuran aspal. Rongga udara ini terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM tersebut dinyatakan dalam prosentase terhadap volume beton aspal padat. Berikut ini adalah grafik perbandingan rongga udara dalam campuran antara agregat dan bahan tambah ban karet bekas.



Gambar 32. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VIM

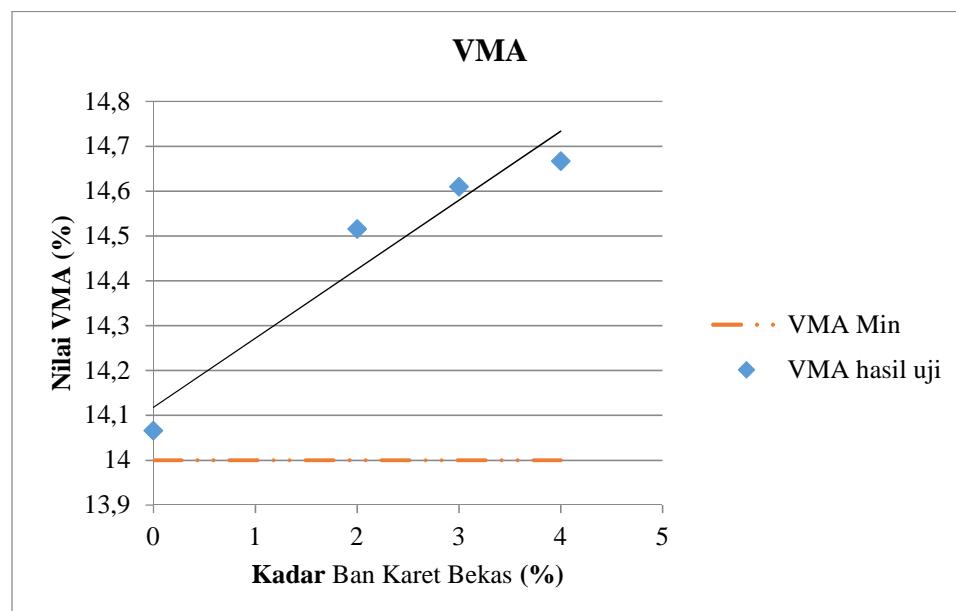
Dari Gambar 32. di atas dapat dilihat bahwa karakteristik laston pada rongga udara dalam campuran aspal ini yang sesuai dengan aturan bina marga adalah yang tidak menggunakan bahan tambah ban karet bekas, sedangkan yang menggunakan bahan tambah ban bekas hasilnya

semua melebihi batas maksimal yang disyaratkan oleh Bina Marga. Nilai terendah yang dipersyaratkan Bina Marga 3 % dan tertinggi 5%.

Hal ini disebabkan karena kadar ban karet bekas yang ditambahkan menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak kadar ban karet bekas yang digunakan, maka rongga yang terbentuk semakin besar.

c. VMA (*voids in mineral aggregate*)

Rongga di antara mineral agregat atau VMA (*voids in mineral aggregate*) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan BJ *Bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *Bulk* campuran yang dipadatkan. Berikut ini grafik perbandingan rongga di antara mineral agregat atau VMA (*voids in mineral aggregate*) antara benda uji yang tidak menggunakan bahan tambah dengan benda uji yang menggunakan bahan tambah ban karet bekas dengan variasi kadar yang berbeda dan *filler* limbah karbit.



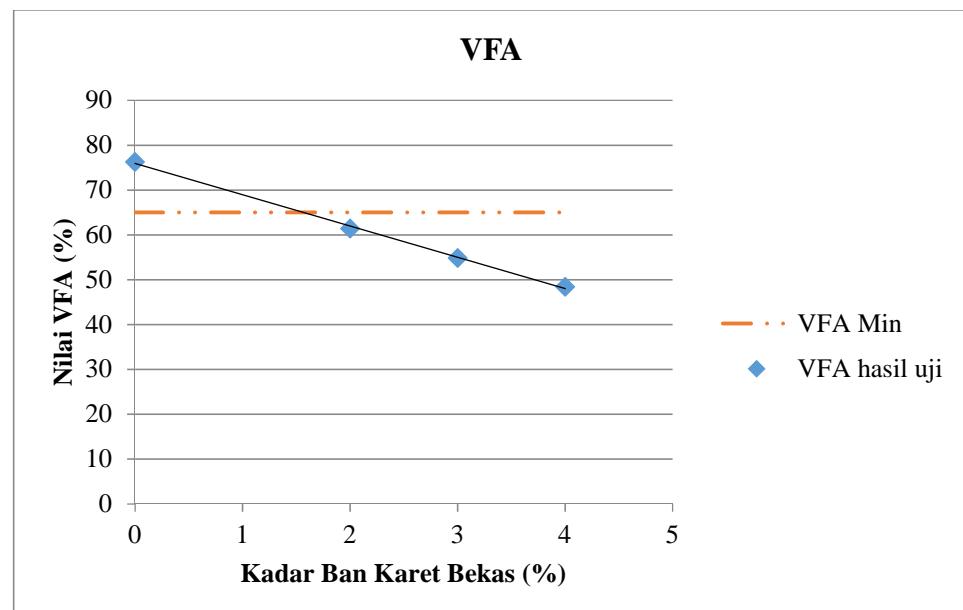
Gambar 33. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VMA

Dari Gambar 33. di atas dapat diketahui bahwa penambahan ban karet bekas dan limbah karbit sebagai *filler* sangat mempengaruhi hasil dari rongga diantara mineral agregat.

Untuk nilai VMA tanpa bahan tambah didapatkan nilai sebesar 14,07 %. Nilai VMA tertinggi terjadi pada penambahan kadar ban karet bekas 2% sebesar 14,62%. Kemudian berurutan kadar 4% sebesar 14,50%, kadar 3% senial 14,34%. Dari hasil tersebut, maka semua benda uji telah memenuhi nilai VMA yang disyaratkan oleh Bina Marga minimal 14%.

d. VFA (*void filled with asphalt*)

VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemanasan. Nilai VFA yang disyaratkan minimal 65%. Faktor-faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energy pemanasan (jumlah serta temperature pemanasan) dan absorbs agregat. Berikut ini adalah Grafik hubungan antara nilai VFA dengan menggunakan bahan tambah ban karet bekas dan limbah karbit sebagai *filler*.



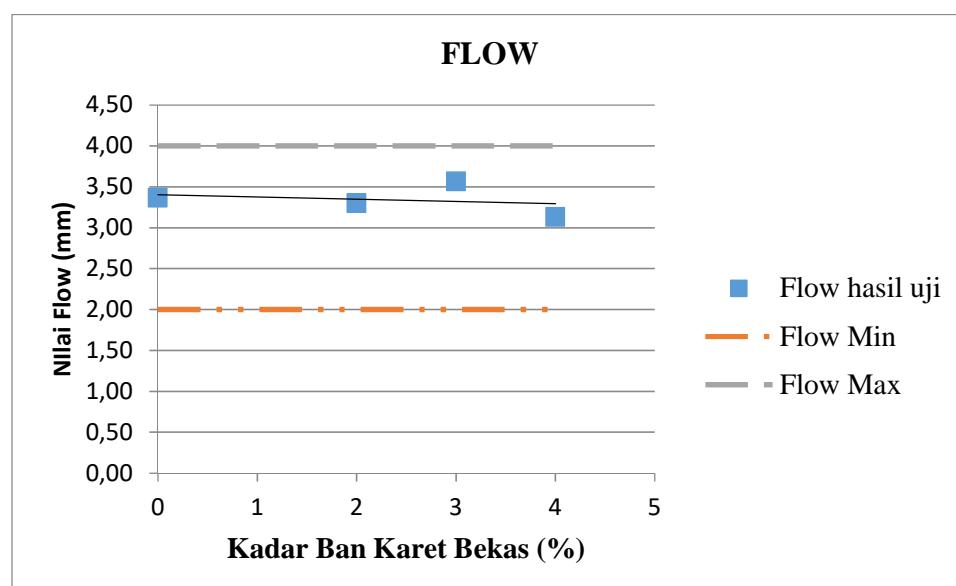
Gambar 34. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan VFA

Dari Gambar 34. di atas terlihat bahwa seiring penambahan kadar ban karet bekas, nilai VFA semakin menurun. Hal ini mungkin disebabkan karena pemanasan yang kurang sempurna atau karet mengumpal sehingga mengurangi aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran.

Nilai VFA tertinggi yaitu pada bahan tanpa tambahan ban karet bekas sebesar 76,27%. Sedangkan untuk kadar bahan tambah ban karet bekas 2% mengalami penurunan menjadi 60,96 %, kadar bahan tambah ban karet bekas 3% menurun menjadi 55,98% dan terendah pada kadar bahan tambah ban karet bekas 4% menjadi 49,04%.

e. Peleahan (flow)

Flow adalah tingkat kelehan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60° C . Ketahanan terhadap keleahan (flow) merupakan kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya keleahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. Berikut ini adalah grafik ketahanan terhadap keleahan lapis aspal beton yang menggunakan bahan tambah ban karet bekas dan limbah karbit sebagai *filler*.



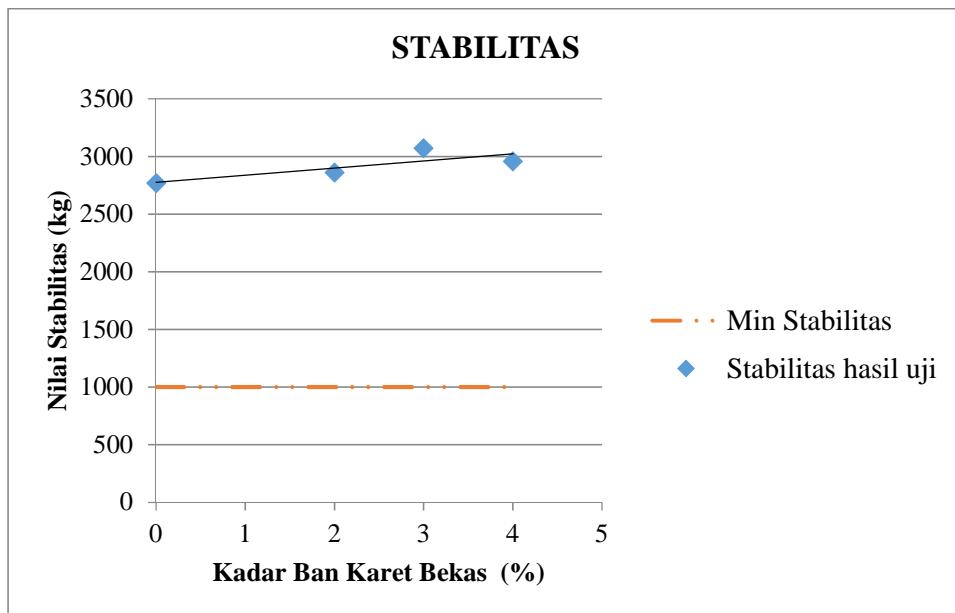
Gambar 35. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan *flow*

Berdasarkan Gambar 35. di atas dapat dilihat bahwa pada penelitian ini nilai kelelehan atau *flow* memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh bina marga. Nilai tertinggi pada pelelehan ini sebesar 3,37 mm yaitu ada pada benda uji yang tidak menggunakan bahan. Sedangkan nilai terendah pada kelelehan ini ada pada benda uji yang menggunakan bahan tambah karet 4% sebesar 3,13 mm.

Untuk yang menggunakan bahan tambah 2% memiliki nilai kelelehan sebesar 3,30 mm dan berikutnya dengan bahan tambah 3 % memiliki nilai kelelehan sebesar 3,23 mm yang telah sesuai dengan persyaratan bina marga.

f. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai stabilitas yang tinggi. Berikut ini adalah grafik perbandingan stabilitas antara laston tanpa bahan tambah dengan laston menggunakan bahan tambah ban karet bekas dan limbah karbit padi sebagai *filler*.



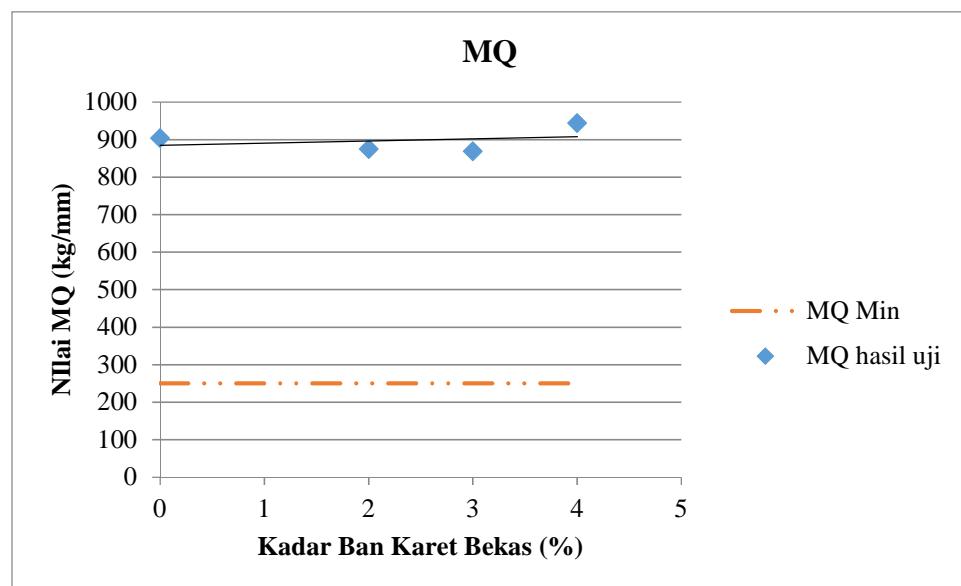
Gambar 36. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan Stabilitas

Dari Gambar 36. di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada benda uji tanpa menggunakan bahan tambah adalah sebesar 2768,16 kg. Benda Uji dengan menggunakan bahan tambah ban karet bekas dengan kadar 2% mengalami peningkatan sebesar 2859,57 kg. Benda Uji dengan menggunakan bahan tambah ban karet bekas dengan kadar 3% memiliki nilai stabilitas 3071,37 kg, sedangkan benda uji dengan menggunakan bahan tambah ban karet bekas kadar 4% memiliki nilai stabilitas 2958,47 kg. Dari benda uji yang menggunakan bahan tambah ban karet bekas nilai stabilitas paling efektif adalah penambahan 3%.

g. MQ (*marshall quotient*)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai MQ (*Marshall Quotient*) menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Nilai dari MQ (*Marshall Quotient*) akan sangat berpengaruh terhadap kualitas aspal. Apabila nilai MQ (*Marshall Quotient*) terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung keras dan kaku sehingga aspal akan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ (*Marshall Quotient*) terlalu

rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Diperoleh dari perhitungan MQ (*Marshall Quotient*), berikut ini adalah grafik perbandingan antara nilai MQ (*Marshall Quotient*) yang tidak menggunakan bahan tambah dan nilai MQ (*Marshall Quotient*) dengan menggunakan bahan tambah ban karet bekas dan limbah karbit sebagai *filler*.



Gambar 37. Grafik hubungan kadar bahan tambah ban karet bekas dengan MQ

Berdasarkan Gambar 37. di atas nilai MQ (*Marshall Quotient*) terendah yaitu ada pada laston dengan bahan tambah ban karet bekas kadar 2% sebesar 875,01 kg/mm. Selanjutnya untuk nilai MQ (*Marshall Quotient*) yang tidak menggunakan bahan tambah ban karet bekas nilai MQ (*Marshall Quotient*) yaitu 904,37 kg/mm. Sedangkan untuk yang menggunakan bahan tambah dengan kadar 3% mempunyai nilai MQ (*Marshall Quotient*) paling besar yaitu 954,61 kg/mm. Selanjutnya benda uji yang menggunakan bahan tambah dengan kadar 4% mempunyai nilai MQ sebesar 944,23 kg/mm.

Dari hasil analisis *marshall* ini untuk nilai MQ (*Marshall Quotient*) telah memenuhi persyaratan dari bina marga dibuktikan dengan grafik di

atas bahwa nilai MQ (*Marshall Quotient*) semuanya lebih besar dari batas minimal yaitu sebesar 250 kg/mm.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi kadar bahan tambah ban karet bekas mempengaruhi nilai karakteristik marshall. Pada setiap penambahan ban karet bekas semua nilai dari pengujian marshall mengalami perubahan. Variasi kadar ban karet bekas dan penambahan limbah karbit sebagai *filler* sangat mempengaruhi karakteristik marshall. Variasi kadar ban karet bekas juga mempengaruhi hasil dari analisis marshall. Pada penambahan kadar ban karet bekas memiliki nilai VIM, VMA, dan Stabilitas selalu lebih tinggi dari pada tidak memakai bahan tambah. Nilai VIM selalu lebih tinggi karena kadar ban karet bekas yang ditambahkan menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak kadar ban karet bekas yang digunakan, maka rongga yang terbentuk semakin besar. Nilai VMA selalu lebih besar karena kadar aspal dalam suatu campuran semakin sedikit maka persentase terhadap agregat akan semakin banyak, karena rongga-rongga tidak terisi secara maksimal oleh aspal. Nilai Stabilitas campuran dengan variasi ban karet bekas tidak ada kenaikan yang cukup berarti. Hal ini disebabkan ban karet bekas bersifat kohesi, sehingga bidang kontak agregat meningkat pada campuran aspal panas. Selain itu, penambahan ban karet bekas dengan jumlah terlalu banyak akan menurunkan nilai stabilitas karena jumlah aspal yang terserap dan menyelimuti agregat semakin sedikit.
2. Penambahan kadar bahan tambah ban karet bekas pada campuran lapis aspal beton (laston) dengan *filler* limbah karbit mempengaruhi nilai karakteristik marshall. Dimana penambahan paling efektif adalah pada kadar 3%, karena pada saat itu nilai stabilitas marshall mengalami kenaikan dengan nilai 3071,37 kg dibandingkan dengan stabilitas tanpa bahan tambah dengan nilai 2768,16 kg dan bahan tambah ban karet bekas

dengan kadar 2% dengan nilai 2859,57 kg sedangkan untuk bahan tambah ban karet bekas dengan kadar 4% mengalami penurunan dengan nilai 2958,47 kg. Sedangkan untuk nilai kepadatan adalah sebesar 2,24 gr/cc, VIM sebesar 6,33%, VMA sebesar 14,34%, VFA sebesar 55,98%, flow sebesar 3,23 mm, dan MQ sebesar 954,41 kg/mm.

3. Penambahan kadar bahan tambah ban karet bekas pada campuran lapis aspal beton (laston) dengan *filler* limbah karbit pada penelitian ini ada yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu VFA dan VIM, namun untuk persyaratan lain sudah memenuhi Persyaratan Bina Marga, diantaranya kepadatan, VMA, Flow, MQ dan stabilitas. Hal ini menunjukkan adanya hubungan positif antara penambahan ban karet bekas kendaraan terhadap karakteristik marshall lapis aspal beton (laston).

B. Saran

Penelitian ini membutuhkan saran-saran agar lebih baik, antara lain sebagai berikut :

1. Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang “Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan *filler* Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall”
2. Agar dilakukan penelitian lanjutan dengan mencari terlebih dahulu kadar aspal optimum (KAO) untuk mendapatkan kualitas campuran lapis aspal beton (laston) yang lebih baik.
3. Agar dilakukan penelitian selanjutnya tentang variasi kadar dari penambahan ban karet bekas.
4. Agar dilakukan penelitian selanjutnya tentang penggunaan limbah cor logam/ karbit jenis lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Balaguru, P., Krishna, M.N., dan Sathiyagnanam, A.P. 2011. *Neural Network Based Analysis of ThermalProperties Rubber Composite Material - Pneumatic Tire*, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol-III, WCE.
- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010* . Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional V. Yogyakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga
- Blima. 2017. *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Untuk Bahantambah Campuran Atb (Asphalt Treated Base)*. Jurnal Universitas Negeri Malang.
- Darunifah, Nurkhayati. 2007. *Pengaruh Bahan Tambahan Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Heet Wearing Course (HRS - WC)*. Semarang : Tesis Universitas Diponegoro.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. *Spesifikasi umum 2010(revisi3)*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3*. Jakarta: Ditjen Bina Marga Kementerian PU.
- Fannisa, H, Wahyudi, M, (2010). *Perencanaan Campuran Aspal Beton dengan Menggunakan Filler Kapur Padam*, Semarang : Program Studi Diploma III Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Faisal, Shaleh.S.M, Isya.M., 2014. *Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4*. Jurnal. Aceh: Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.
- Faturohim, Denny. 2018. *Pengaruh Bahan Tambah Limbah Logam Cor (Wojo) dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshall*. Yogyakarta: UNY
- Ismadarni dkk, 2013. *Karakteristik Beton Aspal Lapis Pengikat (AC-BC) yang Menggunakan Bahan Pengisi (Filler) Abu Sekam Padi*. Teras Jurnal vol 15 no 2 mei 2013. Palu: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

- Juma. 2006. *Ban Karet Bekas diunduh dari repository.usu.ac.id* (diakses pada tanggal 05 Agustus 2018)
- Kompas. 2014. *Kualitas Proyek Aspal Jalan Rendah*. Yogyakarta: Kompas.com
- Kanury, A.M, and Holve, D., 1982, Transient conduction with pyrolysis (Approximatesolutions for charring of wood slabs), Journal Heat Transfer, Vol.104, pp.338.
- Novita, S., Rofaidah, S., dan Asro, M., (2010). "Analisa Stabilisasi Tanah Lempung Organik Dengan Limbah Karbit untuk Subgrade Pada Jalan". Politeknik Negeri Sriwijaya, www.digilib.polsri.ac.id.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, Sekretaris Negara Republik Indonesia*. Jakarta: _____
- Pangestu, T.P., 2012, *Karakteristik Aspal Modifikasi Polimer AC 50/70 Menggunakan Agregat Lokal Bantak Pada Lalu Lintas Berat*, Proyek Akhir, Program Studi Teknik Sipil Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia .2004. *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan, Sekretaris Negara Republik Indonesia*. Jakarta.
- Paramita, Indri Dian. 2018. *Pengaruh Penambahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Dan Filler Limbah Karbit Pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshall*. Yogyakarta: UNY
- Prameswari. 2016. *Pengaruh Penambahan Filler pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall*.Lampung : Universitas Lampung
- Revisi SNI 06-2456-1991. *Uji Penetrasi Aspal*: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- RSNI M-01-2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*: Badan Standarisasi Nasional.
- Saodang, Hamirhan. 2005. *Konstruksi Jalan Raya*. Nova.Bandung
- Suprapto. 2004. *Bahan dan Struktur Jalan Raya* ; edisi II. Yogjakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.

SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.

SNI 06-2441-1991. *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal*: Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.73.

SNI 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*: Badan Standarisasi Nasional.

Soehartono, 2015. *Teknologi Aspal dan Penggunaanya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.

Spelman, R.H. 1998. *General Tire and Rubber Company*. Prentice Hall. Michigan University

Sukirman, S. 2010. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta

Sulaksono W, Sony. 2001. *Rekayasa Jalan*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Suloff, P.D. 1987. *The Goodyear Tire and Rubber Company*. Prentice Hall. Michigan University

Tim Penyusun, 2011. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Warith, M.A. dan Rao S.M. 2006. *Predicting The Compressibility Behaviour of Tire Shred Samples for Landfill Applications*, Elsevier ._____:_____



LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian	: Pengujian Penetrasi Aspal
Hari, Tanggal	: Selasa, 8 Mei 2018
Waktu	: 10.00 – selesai
Tempat	: Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Data Pengujian:

Tabel 29. Data hasil pengujian penetrasi aspal

No.	Suhu (°C)	Waktu (s)	Beban (gr)	Penetrasi		
				I	II	III
1.	25	5	100	53	52	50
2.	25	5	100	52	54	55
3.	25	5	100	51	54	52

Perhitungan nilai rata-rata penetrasi:

$$- \frac{(53 + 52 + 50)}{3} = 51,7$$

$$- \frac{(52 + 54 + 55)}{3} = 53,7$$

$$- \frac{(51 + 54 + 52)}{3} = 52,3$$

$$\text{Nilai rata-rata penetrasi} = \frac{(51,7 + 53,7 + 52,3)}{3} = 52,6$$

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta, 8 Mei 2018

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



**LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian titik lembek aspal
Hari, Tanggal : Rabu, 9 Mei 2018
Waktu : 10.00 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan
Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas
Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian :

1. Percobaan pertama

Tabel 30. Data hasil pengujian titik lembek benda uji percobaan 1

No.	Suhu bola jatuh (°C)		Waktu (detik)	
	I	II	I	II
1	5	5	00 ° 00 00	00 ° 00 00
2	10	10	00 ° 02 30	00 ° 02 30
3	15	15	00 ° 03 23	00 ° 03 23
4	20	20	00 ° 04 50	00 ° 04 50
5	25	25	00 ° 06 00	00 ° 06 00
6	30	30	00 ° 07 36	00 ° 07 36
7	35	35	00 ° 08 40	00 ° 08 40
8	40	40	00 ° 10 00	00 ° 10 00
9	45	45	00 ° 11 19	00 ° 11 19
10	50	50	00 ° 12 42	00 ° 12 42
11	54,5 *	55 *	00 ° 13 15	00 ° 13 30
Titik lembek (°C)		54,5		55
Titik lembek rata-rata (°C)		54,75		

2. Percobaan kedua

Tabel 31. Data hasil pengujian titik lembek benda uji percobaan 2

No.	Suhu bola jatuh (°C)		Waktu (detik)	
	I	II	I	II
1	5	5	00 ° 00 00	00 ° 00 00
2	10	10	00 ° 06 10	00 ° 06 10
3	15	15	00 ° 08 19	00 ° 08 19
4	20	20	00 ° 10 00	00 ° 10 00
5	25	25	00 ° 12 30	00 ° 12 30
6	30	30	00 ° 13 52	00 ° 13 52

No.	Suhu bola jatuh (°C)		Waktu (detik)	
	I	II	I	II
7	35	35	00 ° 15 50	00 ° 15 50
8	40	40	00 ° 17 24	00 ° 17 24
9	45	45	00 ° 19 56	00 ° 19 56
10	50	50	00 ° 21 51	00 ° 21 51
11	55	55	00 ° 23 30	00 ° 23 30
12	57	55,4	00 ° 24 1	00 ° 23 49
Titik lembek (°C)		57		55,2
Titik lembek rata-rata (°C)		56,2		

3. Percobaan ketiga

Tabel 32. Data hasil pengujian titik lembek benda uji percobaan 3

No.	Suhu bola jatuh (°C)		Waktu (detik)	
	I	II	I	II
1	5	5	00 ° 00 00	00 ° 00 00
2	10	10	00 ° 04 56	00 ° 06 10
3	15	15	00 ° 07 20	00 ° 08 19
4	20	20	00 ° 09 33	00 ° 10 00
5	25	25	00 ° 11 34	00 ° 12 30
6	30	30	00 ° 13 20	00 ° 13 52
7	35	35	00 ° 15 26	00 ° 15 50
8	40	40	00 ° 17 03	00 ° 17 24
9	45	45	00 ° 18 04	00 ° 19 56
10	50	50	00 ° 20 24	00 ° 21 51
11	55	55	00 ° 22 02	00 ° 23 30
12	57,8	58	00 ° 23 16	00 ° 23 37
Titik lembek (°C)		57,8		58
Titik lembek rata-rata (°C)		57,9		

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata titik lembek} &= \frac{54,8 + 56,2 + 57,9}{3} \\ &= 56,3 (\text{°C})\end{aligned}$$

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta, 9 Mei 2018
Penguji

Kimin Trono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



**LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal
Hari, Tanggal : Kamis, 10 Mei 2018
Waktu : 09.30 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian :

Tabel 33. Data hasil pengujian titik nyala dan titik bakar

No.	Suhu (°C)	Waktu (detik)
1	153	00 ° 20 15
2	173	00 ° 21 04
3	193	00 ° 22 35
4	213	00 ° 23 58
5	233	00 ° 25 52
6	253	00 ° 28 08
7	273	00 ° 30 41
8	293	00 ° 33 47
9	313	00 ° 40 55
10	334 *	00 ° 47 28
11	353	00 ° 56 10
12	367 **	01 ° 04 38

Keterangan:

- * = Titik nyala
- ** = Titik bakar

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta, 10 Mei 2017
Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian berat jenis aspal
Hari, Tanggal : Senin, 4 Juni 2018
Waktu : 10.00 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan
Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian :

Tabel 34. Data hasil pengujian berat jenis aspal

Notasi	Percobaan 1	Percobaan 2
Berat wadah kosong	10,20 gr	10,4 gr
Berat wadah + air	80,55 gr	80,51 gr
Berat air (1)	70,35 gr	70,11 gr
Vol air = vol wadah (2)	70,35 cc	70,11 cc
Berat wadah + aspal	57,98 gr	48,2 gr
Berat aspal (3)	47,78 gr	37,8 gr
Berat wadah + air +	83,01 gr	81,86 gr
Berat air (4)	25,03 gr	33,66 gr
Vol air (5)	25,03 cc	33,66 cc
Isi contoh (2 - 5)	45,32 gr	36,45 gr
Berat air suling (6)	45,32 cc	36,45 cc
Nilai berat jenis	1,054 gr/cc	1,037 gr/cc

Perhitungan rata-rata berat jenis :

- Berat jenis aspal percobaan 1 = 1,054 gr/cc
- Berat jenis aspal percobaan 2 = 1,037 gr/cc

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis rata-rata} &= \frac{\text{Percobaan 1} + \text{Percobaan 2}}{2} \\ &= \frac{1,054+1,037}{2} = 1,046 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta, 4 Juni 2018
Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



**LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian analisa saringan agregat kasar
Hari, Tanggal : Selasa, 5 Juni 2018
Waktu : 09.30 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan
Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas
Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian:

Tabel 35. Data hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan I

No. saringan	Berat tertahan (gram)	Berat tertahan komulatif (gram)	(%) tertahan	(%) lolos
1,5	0	0	0,00	100,00
1	69	67	1,38	98,62
0,75	341	410	8,20	91,80
0,5	3415	3825	76,50	23,50
0,37	645	4470	89,40	10,60
No. 4	467	4937	98,74	1,26
No. 8	29,6	4966,6	99,33	0,67
No. 16	4	4970,9	99,41	0,59
No. 30	4,5	4975,1	99,50	0,50
No. 50	8	4983,1	99,66	0,34
No. 100	6,6	4989,7	99,79	0,21
No. 200	6	4995,7	99,91	0,09
Pen	4,3	5000	100,00	0,00
Berat contoh	=	5000 gram		

Tabel 36. Data hasil pengujian analisa saringan agregat kasar percobaan 2

No. saringan	Berat tertahan (gram)	Berat tertahan komulatif (gram)	(%) tertahan	(%) lolos
1,5	0	0	0,00	100,00
1	62	62,0	1,24	98,76
0,75	375	437,0	8,74	91,26
0,5	3465	3902,0	78,04	21,96
0,37	650	4552,0	91,04	8,96
No. 4	387	4939,0	98,78	1,22
No. 8	27	4966,0	99,32	0,68
No. 16	3,4	4969,4	99,39	0,61
No. 30	6,3	4975,7	99,51	0,49
No. 50	6,6	4982,3	99,65	0,35
No. 100	7	4989,3	99,79	0,21
No. 200	7,4	4996,7	99,93	0,07
Pen	3,3	5000,00	100,00	0,00
Berat	=	5000 gram		

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta , 5 Juni 2018
Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian	: Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar		
Hari, Tanggal	: Rabu, 6 Juni 2018		
Waktu	: 09.00 – selesai		
Tempat	: Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta		

Data pengujian :

Tabel 37. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Benda uji	Berat kering oven (BK)	Berat SSD (BJ)	Berat dalam air (BA)
I	4758 gr	4838 gr	2963 gr
II	4765 gr	4813 gr	2975 gr

Perhitungan berat jenis percobaan 1:

$$- \text{ Berat jenis } bulk = \frac{BK}{(BJ - BA)}$$

$$= \frac{4758}{(4838 - 2963)}$$

$$= 2,54 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{BJ}{(BJ - BA)}$$

$$= \frac{4838}{(4838 - 2963)}$$

$$= 2,58 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Berat jenis semu} = \frac{BK}{(BK - BA)}$$

$$= \frac{4758}{(4758 - 2975)} = 2,65 \text{ gr/cc}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Penyerapan} &= \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\% \\ &= \frac{(4838 - 4758)}{4758} \times 100\% \\ &= 1,68 \% \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis percobaan 2

$$\begin{aligned} - \text{ Berat jenis } bulk &= \frac{BK}{(BJ - BA)} \\ &= \frac{4765}{(4813 - 2975)} \\ &= 2,59 \text{ gr/cc} \\ - \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} &= \frac{BJ}{(BJ - BA)} \\ &= \frac{4813}{(4813 - 2975)} \\ &= 2,62 \text{ gr/cc} \\ - \text{ Berat jenis semu} &= \frac{BK}{(BK - BA)} \\ &= \frac{4765}{(4765 - 2975)} \\ &= 2,66 \text{ gr/cc} \\ - \text{ Penyerapan} &= \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\% \\ &= \frac{(4813 - 4765)}{4765} \times 100\% \\ &= 1,01 \% \end{aligned}$$

Perhitungan rata- rata :

$$\text{- Berat jenis } bulk = \frac{(BJ \text{ Bulk percobaan 1} + BJ \text{ Bulk percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,54 + 2,59)}{2}$$

$$= 2,57 \text{ gr/cc}$$

$$\text{- Berat jenis (SSD)} = \frac{(BJ \text{ SSD percobaan 1} + BJ \text{ SSD percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,58 + 2,62)}{2}$$

$$= 2,60 \text{ gr/cc}$$

$$\text{- Berat jenis semu} = \frac{(BJ \text{ semu percobaan 1} + BJ \text{ semu percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,65 + 2,66)}{2}$$

$$= 2,66 \text{ gr/cc}$$

$$\text{- Penyerapan} = \frac{(\text{Penyerapan percobaan 1} + \text{Penyerapan percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(1,68 + 1,01)}{2}$$

$$= 1,34 \%$$

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Yogyakarta, 6 Juni 2018
Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus
Hari, Tanggal : Kamis, 7 Juni 2018
Waktu : 09.00 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan
Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian :

Tabel 38. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Benda uji	Berat kering oven (BK)	Berat SSD (BJ)	Berat wadah + air (B)	Berat wadah + air + contoh (Bt)
I	487,5 gr	500 gr	678 gr	987 gr
II	488 gr	500 gr	678 gr	985 gr

Perhitungan berat jenis percobaan 1 :

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis } bulk &= \frac{BK}{(B + BJ - Bt)} \\ &= \frac{487,5}{(678 + 500 - 987)} \\ &= 2,55 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} &= \frac{BJ}{(B + BJ - Bt)} \\ &= \frac{500}{(678 + 500 - 987)} \\ &= 2,62 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis semu} &= \frac{BK}{(B + BK - Bt)} \\ &= \frac{487,5}{(678 + 487,5 - 987)} \\ &= 2,71 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Penyerapan} &= \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 487,5)}{487,5} \times 100\% \\
 &= 2,73 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis percobaan 2:

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat jenis } bulk &= \frac{BK}{(B + BJ - Bt)} \\
 &= \frac{488}{(678 + 500 - 985)} \\
 &= 2,53 \text{ gr/cc} \\
 - \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} &= \frac{BJ}{(B + BJ - Bt)} \\
 &= \frac{500}{(678 + 500 - 985)} \\
 &= 2,59 \text{ gr/cc} \\
 - \text{ Berat jenis semu} &= \frac{BK}{(B + BK - Bt)} \\
 &= \frac{488}{(678 + 488 - 985)} \\
 &= 2,71 \text{ gr/cc} \\
 - \text{ Penyerapan} &= \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 488)}{488} \times 100\% \\
 &= 2,51 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan rata-rata berat jenis dan penyerapan :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat jenis } bulk &= \frac{(BJ \text{ bulk percobaan 1} + BJ \text{ bulk percobaan 2})}{2} \\
 &= \frac{(2,55 + 2,53)}{2} \\
 &= 2,54 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

- Berat jenis (SSD) =
$$\frac{(BJ \text{ SSD percobaan 1} + BJ \text{ SSD percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,62 + 2,59)}{2}$$

$$= 2,60 \text{ gr/cc}$$
- Berat jenis semu =
$$\frac{(BJ \text{ semu percobaan 1} + BJ \text{ semu percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,73 + 2,70)}{2}$$

$$= 2,71 \text{ gr/cc}$$
- Penyerapan =
$$\frac{(\text{Penyerapan percobaan 1} + \text{penyerapan percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(2,56 + 2,46)}{2}$$

$$= 2,51 \text{ %}$$

Mengetahui,

Yogyakarta, 7 Juni 2018

Teknisi Laboratorium

Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha



**LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) 586734 Fax. (0274) 586734



Judul Pengujian : Pengujian berat jenis dan penyerapan *filler*
Hari, Tanggal : Jumat, 5 Mei 2017
Waktu : 09.00 – selesai
Tempat : Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan
Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta

Data pengujian :

Tabel 39. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan *filler*

Benda uji	Berat kering oven (gr)	Berat SSD (gr)	Berat wadah + air (gr)	Berat wadah + air + contoh (gr)
I	93,8	100	455	487
II	94,1	100	455	488,5

Perhitungan berat jenis dan penyerapan *filler* percobaan 1 :

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis bulk} &= \frac{\text{BK}}{(\text{B} + \text{BJ} - \text{Bt})} \\ &= \frac{93,8}{(455 + 100 - 487)} \\ &= 1,38 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} &= \frac{\text{BJ}}{(\text{B} + \text{BJ} - \text{Bt})} \\ &= \frac{100}{(455 + 100 - 487)} \\ &= 1,47 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat jenis semu} &= \frac{\text{BK}}{(\text{B} + \text{BK} - \text{Bt})} \\ &= \frac{93,8}{(455 + 93,8 - 487)} \\ &= 1,52 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\text{- Penyerapan} = \frac{(\text{BJ} - \text{BK})}{\text{BK}} \times 100\%$$

$$= \frac{(100 - 93,8)}{93,8} \times 100\%$$

$$= 6,61 \%$$

Perhitungan berat jenis dan penyerapan *filler* percobaan 2 :

$$- \text{ Berat jenis } bulk = \frac{BK}{(B + BJ - Bt)}$$

$$= \frac{94,1}{(455 + 100 - 488,5)}$$

$$= 1,42 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{BJ}{(B + BJ - Bt)}$$

$$= \frac{100}{(455 + 100 - 488,5)}$$

$$= 1,50 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Berat jenis semu} = \frac{BK}{(B + BK - Bt)}$$

$$= \frac{94,1}{(455 + 94,1 - 488,5)}$$

$$= 1,55 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Penyerapan} = \frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$$

$$= \frac{(100 - 98,5)}{98,5} \times 100 = 6,27 \%$$

Perhitungan rata-rata berat jenis dan penyerapan :

$$- \text{ Berat jenis } bulk = \frac{(BJ \text{ bulk percobaan 1} + BJ \text{ bulk percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(1,38 + 142)}{2}$$

$$= 1,40 \text{ gr/cc}$$

$$- \text{ Berat jenis (SSD)} = \frac{(BJ \text{ SSD percobaan 1} + BJ \text{ SSD percobaan 2})}{2}$$

$$= \frac{(1,47 + 1,50)}{2}$$

$$= 1,49 \text{ gr/cc}$$

- Berat jenis semu = $\frac{(\text{BJ semu percobaan 1} + \text{BJ semu percobaan 2})}{2}$

$$= \frac{(1,52 + 1,55)}{2}$$

$$= 1,54 \text{ gr/cc}$$

- Penyerapan = $\frac{(\text{Penyerapan percobaan 1} + \text{penyerapan percobaan 2})}{2}$

$$= \frac{(6,61 + 6,27)}{2}$$

$$= 6,244 \%$$

Mengetahui,

Yogyakarta, 7 Juni 2018

Teknisi Laboratorium

Penguji

Kimin Triono, S.Pd, T.

Fauzi Satyagraha

DOKUMENTASI



Foto 1. Proses Pemanasan Agregat



Foto 2. Proses Pemanasan Cetakan Aspal Marshall



Foto 3. Proses Penumbukan Benda Uji



Foto 4. Benda Uji Setelah dikeluarkan dari Cetakan



Foto 5. Proses Pengujian Stabilitas Marshall



Foto 6. Proses Pengujian Stabilitas Marshall yang ditunjukkan oleh Marshall Test