

No. Inventaris: 323.S.01.2024



SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN LIMBAH ASPAL
BETON DAN LIMBAH BETON SEBAGAI SUBSITUSI
AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN *ASPHALT*
*CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC)***

Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat
Penulisan Skripsi Program Studi Teknik Sipil

Diusulkan oleh

**JERNIATI NASUTION
190110005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
2024**

SURAT PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya bertanda tangan di bawah ini

Nama : Jerniati Nasution

NIM : 190110005

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa didalam Skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari Tugas Akhir, Tesis, buku atau sejenisnya yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak menjadikan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Sehingga apabila ternyata terdapat dalam Skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, Januari 2024

Saya yang membuat pernyataan



Jerniati Nasution

NIM. 190110005

LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN

Judul Skripsi : Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Aspal Beton dan Limbah Beton sebagai Substitusi Agregat Kasar pada Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC).
Nama Mahasiswa : Jerniati Nasution
NIM : 190110005
Bidang : Transportasi
Tanggal Seminar : 05 Februari 2024
Skripsi ini merupakan persyaratan untuk penulisan Skripsi pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

Lhokseumawe, Februari 2024

Pengusul,



Jerniati Nasution
NIM. 190110005

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Wesli, MT
NIP. 196112312006041021

Pembimbing Pendamping



Yovi Chandra, ST., MT
NIP. 200801197805251001

Ketua Program Studi



Nura Usrina, ST., MT
NIP. 199003152023212043

Wakil Dekan Bidang Akademik



Dr. Ing. Sofvan, ST., MT
NIP. 197508182002121003

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang memberikan nikmat karunia dan rezeki sehingga saya bisa menyelesaikan Skripsi ini.

“Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat (QS. Al-Mujadalah: 11)”

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan? (QS. Ar-Rahman: 13)”

UNTUK ORANGTUA TERCINTA

Terimakasih atas segala do'a yang tiada hentinya dan perjuangan yang telah engkau lakukan untuk anakmu ini, rasa lelahmu tak kau pedulikan demi melihat anakmu bahagia. Setiap katamu merupakan semangat bagi anakmu dalam menyelesaikan perkuliahan. Anakmu ini tidak akan sukses tanpa ridho dan do'a darimu, untuk abang abang dan kakak adik adik saya yang sangat luar biasa mendukung.

UNTUK DOSEN PEMBIMBING

Ucapan terimakasih kepada Dosen Pembimbing yang telah sabar dan ikhlas meluangkan waktu dalam memberikan arahan, nasehat, dukungan dan motivasi hingga Skripsi ini dapat terselesaikan

UNTUK TEMAN-TEMAN SEPERJUANGAN

Terimakasih juga dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan dan juga semangat dalam menyelesaikan Skripsi ini zuhra ayok kejar S.T nya, rusda gemoy Nadila sari yang baik hati dan kawan kawan kejar target terima kasih untuk kebersamaannya selama ini dengan kalian belajar sama-sama dan berjuang bareng lapyuuuu.

**STUDI EKSPERIMENTAL PEMANFAATAN LIMBAH ASPAL
BETON DAN LIMBAH BETON SEBAGAI SUBSTITUSI
AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN ASPHALT
CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)**

Nama : Jerniati Nasution
Nim : 190110005

Pembimbing Utama : Prof.Dr. Ir. Wesli, MT
Pembimbing Pendamping : Yovi Chandra, ST.,MT
Ketua Penguji : Dr.Yulius Rief Alkhaly, ST.,M.Eng
Anggota Penguji : Nura Usrina, ST., MT

ABSTRAK

Limbah aspal beton dan limbah beton hanya sedikit sekali jumlahnya yang diolah melalui daur ulang, yang banyak dilakukan oleh masyarakat adalah dengan membuangnya atau dijadikan pengisi timbunan. Disisi lain agregat kasar merupakan material yang tidak dapat diperbaharui, penggunaan secara terus menerus agregat alam akan mengakibatkan kelangkaan material dan merusak lingkungan, oleh karnanya perlu dilakukan teknik recycling atau daur ulang limbah agar dapat digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada campuran perkerasan, dengan memanfaatkan limbah tersebut sebagai bahan substitusi agregat kasar untuk melihat kemampuan limbah sebagai pengganti agregat diharapkan dapat menjadi salah satu upaya untuk mengurangi limbah aspal beton dan limbah beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pemanfaatan limbah aspal beton dan limbah beton yang dapat digunakan sebagai substitusi sebagian agregat kasar yang memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang bersifat deduktif. Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan kadar variasi limbah aspal beton dan limbah beton 50%, 75% dan 95% diperoleh kesimpulan bahwa limbah aspal beton dan limbah beton dapat digunakan sebagai substitusi sebagian agregat kasar pada lapis perkerasan AC-BC. Dari hasil penelitian diperoleh variasi 75% dan 95% dapat dimanfaatkan namun pada variasi 50% terdapat nilai VIM sebesar 5,25% menunjukkan bahwa pada variasi tersebut nilai VIM melebihi nilai batas maksimum pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu sebesar 3.0% – 5.0%.

Kata Kunci: limbah beton, limbah aspal beton, Parameter *Marshall*, Substitusi Sebagian agregat kasar.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat beriring salam dihadiahkan kepada junjungan alam Nabi Besar Muhammad Shalallaahu Alaihi Wassalaam, keluarga dan sahabat-sahabatnya, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman islamiyah dan penuh ilmu pengetahuan. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Malikussaleh Bapak Prof. Dr. Ir. H. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.
2. Dekan Fakultas Teknik Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T.,M.T.
3. Ketua Jurusan Teknik Sipil Bapak Dr.Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng.
4. Ketua Program Studi Teknik Sipil Ibu Nura Usrina, S.T., M.T.
5. Pembimbing Utama Bapak Prof. Dr. Ir. Wesli, M.T.
6. Pembimbing Pendamping Bapak Yovi Chandra, S.T.,M.T.
7. Ketua Penguji Bapak Dr. Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng.
8. Anggota Penguji Ibu Nura Usrina, S.T., M.T
9. Ketua Tim Pelaksana PKL dan Skripsi Bapak T. Mudi Hafli, S.T., M.T.

Penulis menyadari masih belum sempurna dan terdapat kekurangan dalam Skripsi Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dikemudian hari, akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Lhokseumawe,

Penulis

Jerniati Nasution

NIM. 190110005

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINILITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN.....	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Hasil Penelitian	4
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	6
2.1 Perkerasan Jalan	6
2.1.1 Perkerasan lentur (fleksibel pavement).....	7
2.1.2 Lapisan aspal beton (Laston)	8
2.2 Bahan Campuran Perkerasan Jalan	9
2.3 Pemeriksaan Agregat	13
2.3.1 Berat jenis dan penyerapan agregat	13
2.3.2 Analisa saringan.....	15
2.3.3 Berat isi agregat	15
2.3.4 Limbah beton dan limbah aspal beton	16

2.4 Pengujian Marshall (<i>Marshall Test</i>).....	16
2.4.1 Kepadatan	17
2.4.2 <i>Void in mineral aggregate</i> (VMA)	17
2.4.3 <i>Void in the mix</i> (VIM).....	18
2.4.4 Rongga terisi aspal (VFA)	18
2.4.5 Stabilitas <i>marshall</i> (<i>marshall stability</i>).....	19
2.4.6 Kelelehan (<i>flow</i>).....	20
2.4.7 Hasil bagi <i>marshall</i> (<i>marshall quotient</i>).....	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	21
3.2 Lokasi Penelitian.....	22
3.3 Pengumpulan Data	22
3.3.1 Data primer	22
3.3.2 Data sekunder	23
3.4 Analisis dan Pengolahan Data.....	23
3.4.2 Material	34
3.4.3 Pemeriksaan sifat fisis material	37
3.4.4 Perencanaan campuran (<i>mix design</i>).....	39
3.4.5 Pembuatan benda uji.....	40
3.4.6 Pengujian benda uji.....	42
3.5 Penelusuran Penelitian Terdahulu.....	44
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Hasil	49
4.1.1 Sifat fisis material	49
4.1.1 Benda uji.....	55
4.1.2 Parameter <i>marshall</i> kadar aspal optimum (KAO)	59
4.1.3 Parameter <i>marshall</i> dengan substitusi Limbah Aspal dan Limbah Beton	64
4.2 Pembahasan.....	84
4.2.1 Kadar aspal optimum (KAO).....	85

4.2.2 Variasi 50%.....	86
4.2.3 Variasi 75 %.....	88
4.2.4 Variasi 95%.....	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN A PERHITUNGAN	100
LAMPIRAN B TABEL.....	130
LAMPIRAN C GAMBAR.....	142
LAMPIRAN D BIODATA MAHASISWA.....	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 komponen lapisan perkerasan lentur	8
Gambar 3. 1 Satu set Saringan	24
Gambar 3. 2 Sieve Shaker	24
Gambar 3. 3 Gelas Ukur.....	25
Gambar 3. 4 Plat Kaca	25
Gambar 3. 5 Botol air suling	26
Gambar 3. 6 Oven	26
Gambar 3. 7 Cawan.....	27
Gambar 3. 8 Kerucut.....	27
Gambar 3. 9 Dunagen set	28
Gambar 3. 10 Silinder	28
Gambar 3. 11 Mistar Perata	29
Gambar 3. 12 Kuas.....	29
Gambar 3. 13 Timbangan ketelitian 1gr	29
Gambar 3. 14 Talam.....	30
Gambar 3. 15 Cetakan Benda Uji (mold).....	30
Gambar 3. 16 Marhall Hammer	31
Gambar 3. 17 Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr	31
Gambar 3. 18 Thermometer	32
Gambar 3. 19 Wajan pencampur.....	32
Gambar 3. 20 Sendok Pengaduk	33
Gambar 3. 21 Kompor Gas	33
Gambar 3. 22 Alat uji Marshall.....	34
Gambar 3. 23 Waterbath	34
Gambar 3. 24 Limbah beton.....	36
Gambar 3. 25 Limbah aspal beton	36
Gambar 3. 26 Pasir	37
Gambar 3. 27 Semen	37

Gambar 4. 1 Grafik gradasi campuran	54
Gambar 4. 2 Grafik KAO (Density).....	61
Gambar 4. 3 Grafik KAO (VMA).....	61
Gambar 4. 4 Grafik KAO (VIM)	62
Gambar 4. 5 Grafik KAO (VFA)	62
Gambar 4. 6 Grafik KAO (Stabilitas)	63
Gambar 4. 7 Grafik KAO (Flow).....	63
Gambar 4. 8 Grafik KAO (MQ).....	63
Gambar 4.9 Grafik variasi (<i>Density</i>).....	65
Gambar 4.10 Grafik variasi (VMA).....	66
Gambar 4.11 Grafik variasi (VIM)	67
Gambar 4.12 Grafik variasi (VFA)	68
Gambar 4.13 Grafik variasi (Stabilitas)	68
Gambar 4.14 Grafik variasi (<i>Flow</i>).....	69
Gambar 4.15 Grafik variasi (MQ).....	70
Gambar 4. 16 Grafik variasi (Density).....	72
Gambar 4. 17 Grafik variasi (VMA).....	73
Gambar 4. 18 Grafik variasi (VIM)	74
Gambar 4. 19 Grafik variasi (VFA)	74
Gambar 4. 20 Grafik variasi (Stabilitas)	75
Gambar 4. 21 Grafik variasi (Flow).....	76
Gambar 4. 22 Grafik variasi (MQ).....	77
Gambar 4. 23 Grafik variasi (Density).....	79
Gambar 4. 24 Grafik variasi (VMA).....	80
Gambar 4. 25 Grafik variasi (VIM)	80
Gambar 4. 26 Grafik variasi (VFA)	81
Gambar 4. 27 Grafik variasi (Stabilitas)	82
Gambar 4. 28 Grafik variasi (Flow).....	83
Gambar 4. 29 Grafik variasi (MQ).....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gradasi Agregat kasar	8
Tabel 2. 2 Ketentuan agregat kasar	10
Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2. 4 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal	12
Tabel 2. 5 Angka Korelasi	19
Tabel 3. 1 Data Skunder.....	23
Tabel 3. 2 Jumlah benda uji untuk penentuan KAO	40
Tabel 3. 3 Jumlah benda uji untuk variasi.....	40
Tabel 3. 5 Penelitian Terdahulu	45
Tabel 4. 1 Data berat jenis batu pecah $\frac{3}{4}$	49
Tabel 4. 2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (batu pecah $\frac{3}{4}$) ...	50
Tabel 4. 3 Data berat jenis batu pecah $\frac{3}{8}$	50
Tabel 4. 4 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (batu pecah $\frac{3}{8}$)	50
Tabel 4. 5 Data berat jenis pasir.....	51
Tabel 4.6 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (pasir).....	52
Tabel 4.7 Data berat jenis <i>dust</i>	52
Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air <i>dust</i>	52
Tabel 4.9 Hasil pemeriksaan berat isi agregat	53
Tabel 4.10 Tabel gradasi campuran	54
Tabel 4.11 Perkiraan kadar aspal	55
Tabel 4.12 Komposisi aspal beton 4% KAO	55
Tabel 4.13 Komposisi aspal beton 4,5% KAO	56
Tabel 4.14 Komposisi aspal beton 5% KAO	56
Tabel 4.15 Komposisi aspal beton 5,5% KAO	57
Tabel 4.16 Komposisi aspal beton 6% KAO	57
Tabel 4. 17 Komposisi aspal beton dengan variasi 50 %	58
Tabel 4. 18 Komposisi aspal beton dengan variasi 75 %	58
Tabel 4. 19 Komposisi aspal beton dengan variasi 95 %	59
Tabel 4.20 Hasil pengujian <i>marshall</i> untuk nilai KAO	59

Tabel 4.21 Grafik KAO parameter <i>marshall</i>	60
Tabel 4. 22 Tabel hasil KAO	60
Tabel 4. 23 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 50%	64
Tabel 4. 24 Grafik variasi parameter marshall.....	65
Tabel 4. 25 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 75%	70
Tabel 4. 26 Grafik variasi parameter marshall.....	71
Tabel 4. 27 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 95%	77
Tabel 4. 28 Grafik variasi parameter marshall.....	78
Tabel 4. 29 Tabel hasil pengujian variasi 50%	84
Tabel 4. 30 Tabel hasil pengujian variasi 75%	85
Tabel 4. 31 Tabel hasil pengujian variasi 95%	85

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

Absorpsi	: Penyerapan air
AC-BC	: <i>Asphalt Concrete Binder Course</i>
Agregat	: formasi kulit bumi yang keras dan padat
Agregat halus	: Agregat dengan butir lebih kecil dari saringan No.8
Agregat kasar	: Agregat dengan butir lebih besar dari saringan No.8
<i>Apparent</i>	: Berat jenis semu aspal paling atas atau lapis aus (<i>Wearing course</i>)
Aspal	: Lapisan perekat dengan unsur utama bitumen
Bitumen	: Zat perekat yang mengandung senyawa hidrokarbon
<i>Bleeding</i>	: Jenis kerusakan jalan akibat aspal terlalu tebal
CA	: <i>Course Aggregate</i> yaitu agregat kasar yang tertahan saringan No.4
Cm	: Centi meter
Density	: Merupakan tingkat kerapatan campuran beraspal setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai <i>density</i> suatu campuran menunjukkan bahwa semakin rapat kepadatan dari campuran aspal.
Durabilitas	: Kemampuan beton aspal menahan beban lalu lintas
FA	: <i>Fine Aggregate</i> yaitu agregat halus yang lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200
<i>Filler</i>	: Bahan pengisi (agregat halus yang lolos saringan No. 200)
Fleksibilitas	: Kemampuan beton aspal menyesuaikan diri dari penurunan
<i>Flow</i>	: Besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel hancur.
Gradasi	: Susunan butir agregat sesuai saringan

<i>Marshall quotient</i>	: Perbandingan antara nilai stabilitas dan <i>flow</i> yang dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekuatan campuran.
<i>Marshall test</i>	: Pengujian <i>marshall</i> dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (<i>flow</i>), VMA, VIM, VFA dan density
Pen	: Penetrasi
<i>Stability</i>	: Kemampuan lapisan perkerasan menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis
VFA	: <i>Void Filler by Asphalt</i> (rongga yang terisi aspal) adalah bagian dari pori agregat yang terisi aspal
VIM	: <i>Void In the Mix</i> (rongga dalam campuran) adalah bagian ruang yang kosong sari seluruh campuran
VMA	: <i>Void In Mineral Aggregate</i> (rongga antar butiran agregat) adalah besarnya rongga yang terdapat pada susunan butir
<i>Workability</i>	: Tingkat kemudahan pengerjaan laston dalam pelaksanaan campuran

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk. Jalan memungkinkan seluruh masyarakat mendapatkan akses pelayanan pendidikan, kesehatan dan pekerjaan. Untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan yang kuat, tahan lama dan mempunyai daya tahan tinggi terhadap deformasi plastis yang terjadi (Sulia, 2015).

Lapis aspal beton (*laston*) sebagai bahan pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*asphalt concrete – binder course*). Lapisan ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*) yang bergradasi agregat gabungan rapat, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat (Sukirman, 2016).

Agregat merupakan komponen utama struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian, kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat adalah bahan pengisi atau yang dicampurkan dalam proses pembuatan aspal yang berasal dari batu dan mempunyai peranan penting terhadap kualitas aspal (Sukirman, n.d.).

Pembuatan campuran *asphalt concrete* (AC) ini membutuhkan agregat dalam jumlah banyak karena dalam struktur perkerasan 90-95% terdiri dari agregat. Penggunaan *fresh aggregate* yang terus menerus dalam jumlah yang besar tentu akan menimbulkan masalah lingkungan di sekitar daerah penambangan tersebut. Pada penelitian ini untuk mengurangi penggunaan *fresh aggregate* dilakukan pemanfaatan limbah beton dan limbah aspal beton sebagai substitusi agregat kasar pada campuran lapis perkerasan AC-BC (*asphalt concrete-binder course*), selain itu pemanfaatan limbah beton yang berasal dari reruntuhan

bangunan akibat gempa bumi, bongkaran bangunan, akibat kebakaran maupun limbah beton yang berasal dari kegagalan dalam pembuatan di pabrik beton pracetak, yang dalam jumlah banyak akan menimbulkan masalah negatif bagi lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut dilakukan daur ulang pengganti bahan agregat kasar limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada lapisan AC-BC. Material pengujian yang digunakan untuk substitusi campuran agregat kasar adalah limbah aspal beton dan limbah beton yang ada di laboratorium Teknik sipil Universitas Malikussaleh, limbah tersebut berasal dari limbah sisa sampel praktikum bahan kontruksi (limbah beton) dan sampel limbah praktikum bahan jalan raya (aspal) yang sudah tidak terpakai lagi, jumlah yang tidak sedikit cenderung menjadi limbah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah seberapa besar variasi campuran limbah aspal beton dan limbah beton yang dapat memenuhi parameter *marshall* untuk pemanfaatannya sebagai substitusi agregat kasar pada lapisan perkerasan *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya variasi campuran limbah beton dan limbah aspal beton yang dapat memenuhi parameter *marshall* untuk pemanfaatannya sebagai substitusi agregat pada lapisan *Asphalt concrete binder course* (AC-BC).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan mengetahui besarnya variasi campuran limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi sebagian agregat pada lapisan AC-BC yang dapat memenuhi parameter *marshall*, maka dapat dijadikan rujukan untuk membuat aspal modifikasi dengan substitusi limbah aspal beton dan limbah beton.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ditetapkan ruang lingkup dan batasan penelitian sebagai berikut :

1. Lapis perkerasan yang di teliti adalah lapisan *asphalt concrete-binder course* (AC-BC) pada perkerasan lentur.
2. Persentase pencampuran limbah aspal beton dan limbah beton adalah 0%,50 %, 75%, dan 95%.
3. Perencanaan campuran aspal beton AC-BC mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.
4. Limbah beton hasil pengujian kuat tekan dan limbah aspal hasil pengujian *marshhall* diperoleh dari laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

1.6 Metode Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tahap yang dilakukan yaitu dari tahap persiapan, tahap pelaksanaan, tahap pengujian, dan tahap pengolahan data untuk memperoleh hasil penelitian. Penelitian diawali dengan dilakukannya studi literatur menurut referensi yang sesuai dengan judul skripsi. Tahap selanjutnya adalah mempersiapkan material seperti semen, limbah beton dan limbah aspal beton yang telah dipecahkan membentuk agregat kasar, pasir dan *dust*.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan sifat fisis material, pemeriksaan sifat fisis yang dilakukan adalah pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat, pemeriksaan analisa saringan, dan pemeriksaan berat volume agregat, lalu dilanjutkan dengan perhitungan kadar aspal optimum, dalam mencari kadar aspal optimum maka dicari kadar aspal tengah terlebih dahulu, selanjutnya benda uji dibuat dalam cetakan berbentuk silinder dengan ukuran \emptyset 101,6 mm \times 75 mm dengan jumlah benda uji sebanyak 15 sampel, lalu dilakukan uji *marshall*, setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan variasi limbah beton dan limbah aspal beton 0%, 50%, 75%, dan 95% dari berat agregat kasar, masing-masing variasi menggunakan 3 sampel. Total benda uji yang digunakan adalah 45 sampel.

Kemudian dilakukan pengujian *marshall* untuk mengetahui kinerja lapis pengikat pada *flexible pavement*, yaitu campuran AC-BC yang menggunakan limbah beton, pada variasi prosentase limbah beton sebagai pengganti agregat kasar, yaitu : 0%, 50% dan 75% dan 95% terhadap total agregat kasar. Kinerja yang diukur adalah karakteristik *marshall*, yaitu stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, VMA, VFWA dan VIM pada masing-masing variasi prosentase limbah beton sebagai pengganti agregat kasar. Kemudian dilakukan analisa pengaruh variasi presentase limbah beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap stabilitas, *flow*, *marshall quotient*, VMA, VFWA dan VIM.

1.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh berdasarkan penelitian pemanfaatan Limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada lapisan AC-BC yaitu nilai KAO berdasarkan pengujian *marshall* sebanyak 15 benda uji, didapatkan kadar aspal optimumnya sebesar 6% dan selanjutnya KAO digunakan untuk 48 benda uji, untuk hasil dari pengujian tidak semua variasi benda uji memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Nilai dari indikator parameter *marshall* pada tiap variasi yang menggunakan substitusi limbah aspal beton dan limbah beton pada sebagian agregat kasar adalah pada variasi 50% limbah beton dan limbah aspal beton diperoleh nilai *density* sebesar 2,359 gr/cm³ (memenuhi). Nilai VMA yaitu sebesar 13,61% (tidak memenuhi). Nilai VIM yaitu sebesar 1,50% (tidak memenuhi). Nilai VFA yaitu sebesar 89,29% (memenuhi). Nilai stabilitas yaitu sebesar 1541 kg (memenuhi). Nilai *flow* yaitu sebesar 5,35 mm (tidak memenuhi). Nilai MQ yaitu sebesar 288 kg/mm (memenuhi). Pada variasi 75% limbash aspal beton dan limbash beton nilai *density* yaitu sebesar 2,281 gr/cm³. Nilai VMA yaitu sebesar 16,49% (memenuhi). Nilai VIM yaitu sebesar 4,79% (memenuhi). Nilai VFA yaitu sebesar 70,96% (memenuhi). Nilai stabilitas yaitu sebesar 1836 kg (memenuhi). Nilai *flow* yaitu sebesar 3,44 mm (memenuhi). Nilai MQ yaitu sebesar 534 kg/mm (memenuhi). Pada variasi 95% limbah beton dan limbah aspal beton nilai *density* yaitu sebesar 2,306 gr/cm³ (memenuhi). Nilai VMA yaitu sebesar 15,57% (memenuhi). Nilai

VIM yaitu sebesar 3,75% (memenuhi). Nilai VFA yaitu sebesar 76,03% (memenuhi). Nilai stabilitas yaitu sebesar 2357 kg (memenuhi). Nilai *flow* yaitu sebesar 3,71 mm (memenuhi). Nilai MQ yaitu sebesar 635 kg/mm (memenuhi).

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan raya artinya campuran antara agregat serta bahan pengikat yang dipergunakan untuk melayani beban lalu lintas agregat yang dipakai adalah batu pecah, batu kali, serta bahan lainnya sebagai pengisi ruang kosong disetiap lapisan yang akan dibuat. Sedangkan bahan pengikatnya adalah aspal dan semen dimana campuran agregat serta bahan pengikat ini sempurna menghasilkan ketebalan, kekuatan, dan kestabilan tertentu supaya mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar. Perkerasan jalan raya merupakan bagian jalan yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu. dimana perkerasan jalan raya berdasarkan bahan pengikatnya terbagi atas perkerasan lentur (*fleksibel pavement*) serta perkerasan kaku (*rigid pavement*) (Sukirman, 2003.).

Menurut (Aulia, 2021) berpendapat bahwa perkerasan jalan beton masih menjadi aspal pilihan dalam pembangunan dan revitalisasi di beberapa ruas jalan yang ada di Indonesia, meskipun beberapa ruas jalan sudah menggunakan perkerasan beton semen, akan tetapi perkerasan jalan menggunakan aspal beston masih menjadi pilihan alternatif karena dalam perencanaannya mempertimbangkan kondisi geografis dari wilayah itu sendiri, daya dukung tanah dasar, ekisting jalan serta ekonomisnya.

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa *fragmen-fragmen*. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume, dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Sukirman, n.d.)

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu,

perlu pemeriksaan yang teliti sebelum diputuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat.

Menurut (Sukirman,2010.) aspal beton diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu berdasarkan fungsi dan berdasarkan metode pencampuran, antara lain:

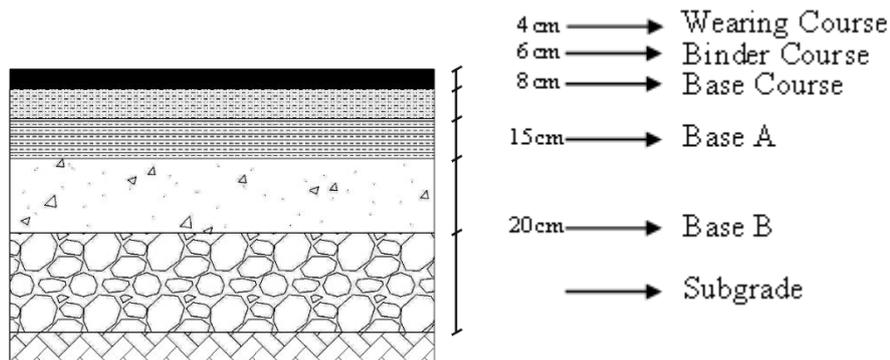
- A. Berdasarkan fungsinya aspal beton terbagi atas:
 - 1. Sebagai lapisan permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda
 - 2. Sebagai lapis pondasi atas
 - 3. Sebagai lapis pembentuk pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan.
- B. Berdasarkan metode pencampuran:
 - 1. Aspal beton Amerika, yang bersumber kepada *Asphalt Institut*.
 - 2. Aspal beton durabilitas tinggi, yang bersumber pada BS 594, Inggris, dan dikembangkan oleh CQCMU, Bina Marga Indonesia.

2.1.1 Perkerasan lentur (fleksibel pavement)

Menurut (Wiyanti,2011) Perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis yaitu :

- 1. Lapisan tanah dasar (*Subgrade course*)
- 2. lapisan pondasi bawah (*Sub-base course*)
- 3. lapisan pondasi atas (*Base course*), dan
- 4. Lapisan permukaan (*Surface course*)

Masing-masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas setiap lapisan memiliki fungsi tersendiri dan ukuran setiap lapisannya. Lapis perkerasan lentur diperlihatkan pada Gambar 2.1 lapisan perkerasan lentur (*fleksibel pavement*).



Gambar 2. 1 komponen lapisan perkerasan lentur

2.1.2 Lapisan aspal beton (Laston)

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Saputra, 2016). Lapis yang terdiri dari campuran aspal keras (AC) dan agregat yang mempunyai gradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu, ciri lainnya mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya. Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas menurut (Marga, n.d.) Untuk laston bergradasi kasar, diperlihatkan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Gradasi Agregat kasar

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	Lapisan Aus	Lapisan Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang	75		112
Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,075 mm dengan Kadar Aspal Efektif	Min.	0,6	
	Maks.	1,6	
Rongga Dalam Campuran (%)	Min.	3	
	Maks.	5	
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65
Stabilitas <i>marshall</i> (kg)	Min.	800	
	Min.	2	3
Pelelehan (mm)	Min.	4	
	Maks.	6	
Stabilitas <i>marshall</i> Sisa (%) Setelah Peredaman Selama 24 jam	Min.	90	
Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (refusal)	Min.	-	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

2.2 Bahan Campuran Perkerasan Jalan

Agregat sangat dominan pada elemen perkerasan lentur, sebagai material lapis pondasi atas, lapisan pondasi bawah, lapis permukaan agregat adalah elemen perkerasan jalan yang mempunyai kandungan 90-95 % acuan volume dari komposisi perkerasan sehingga menyumbangkan faktor kekuatan utama dalam perkerasan jalan pemilihan agregat yang digunakan pada suatu konstruksi perkerasan jalan dipengaruhi oleh faktor seperti gradasi, bentuk butiran, kekuatan, kelekatan aspal, tekstur, permukaan dan kebersihan (Shirley L. Hendarsin, 2000).

Menurut (Sukirman, (2003) agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau *fragmen- fragmen*. Berdasarkan variasi ukuran butirannya, agregat dikelompokkan menjadi 2 yaitu agregat kasar dan agregat halus. Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas dua yaitu:

2.2.1 Agregat kasar

Menurut (Sukirman, (2003), agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci. Namun berdasarkan (“divisi-6_spek-2010-rev-3.pdf,” n.d.) agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang disyaratkan dibawah ini:

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan.
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.2 untuk (Spesifikasi Umum Bina Marga, (2018). Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu sama atau lebih.
4. Agregat kasar untuk latasir kelas A dan B boleh dari kerikil yang bersih, harus.

5. Agregat kasar pada campuran beraspal berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci dari masing-masing partikel agregat. Agregat kasar diharapkan menjadikan campuran lebih ekonomis, meningkatkan ketahanan mortar terhadap kelelahan (*flow*) dan meningkatkan stabilitas. Ketentuan agregat kasar menurut (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) diperlihatkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong		SNI 8287: 2016 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos saringan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No.200 (0,075 mm) adalah 10% (Sukirman, 2003a). Berdasarkan standar (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018), agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang disyaratkan:

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).

2. Fraksi agregat pecah halus dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
3. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampuran aspal sehingga gradasi gabungan dan persentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.
4. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat Halus

	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	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 Bina Marga 2018

2.2.3 Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) (Ramdhani, Suhanggi and Rhoma, 2018). Fungsi *filler* adalah:

1. Untuk memodifikasi gradasi agregat halus, sehingga berat jenis agregat meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. Mengisi ruang antar agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas.
3. Mengisi rongga dan menambah bidang kontak antar butir agregat sehingga dapat meningkatkan kekuatan campuran.
4. Bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersamaan.
5. Mengurangi rongga udara (*air void*).

2.2.4 Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukuran dan sangat penting untuk menentukan stabilitas perkerasan (Sukirman, 2003b). Gradasi agregat memengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan oleh pemeriksaan analisa saringan, di mana contoh agregat atau benda uji harus melalui satu set saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang masing-masing saringan yang berisi agregat yang tertahan pada saringan .

Gradasi agregat untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang ada pada Tabel 2.4. Gradasi agregat secara umum dikelompokkan menjadi: gradasi menerus, agregat bergradasi menerus adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi dalam satu rentang ukuran butir. Gradasi ini disebut juga gradasi rapat (*dense graded*). Gradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Gradasi ini disebut juga gradasi terbuka (*open graded*). Gradasi senjang, adalah gradasi agregat di mana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Gradasi sela adalah distribusi ukuran yang salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada. Baik buruknya gradasi agregat menentukan kualitas campuran aspal, gradasi dengan kualitas buruk akan menjadikan campuran perkerasan tidak memenuhi spesifikasi, gradasi perlu diperhatikan dengan baik. Ukuran gradasi agregat untuk campuran aspal dapat dilihat pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2. 4 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal

Ukuran ayakan (mm)		% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
		Laston		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1½"	37,5			100

1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	0,5	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 (2018)

2.3 Pemeriksaan Agregat

Di dalam perhitungan untuk mencari sifat-sifat fisis agregat maupun sifat *volumetrik* dari campuran beton aspal yang baik dibutuhkan parameter petunjuk. Sifat-sifat tersebut sangat perlu diperhitungkan ketika merancang perkerasan jalan, sehingga dapat mengetahui kemampuan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca.

2.3.1 Berat jenis dan penyerapan agregat

Pemeriksaan berat jenis agregat terbagi menjadi 2 bagian yaitu pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan berat jenis agregat halus. Menurut (“sni-1969-2008.pdf,” n.d.) berat jenis terbagi 3 yaitu:

1. Berat jenis SSD adalah berat jenis agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan.
2. Berat jenis semu adalah berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat dalam keadaan kering.
3. Agregat jenis *bulk* adalah berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dengan seluruh volume agregat.

Berat jenis dan penyerapan memiliki hubungan yaitu apabila semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat. Berat jenis dapat menentukan jumlah campuran agregat dalam perencanaan *mix design*.

A. Rumus perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

1. Berat jenis curah, kering oven (*bulk specific gravity OD*)

$$BJ_{(OD)} = \frac{w_1}{(w_2 - w_3)\gamma_d} \quad (2.1)$$

2. Berat jenis curah, jenuh kering permukaan (*bulk specific gravity SSD*)

$$BJ_{(SSD)} = \frac{w_2}{(w_2 - w_3)\gamma_d} \quad (2.2)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$BJ_{(APP)} = \frac{w_1}{(w_1 - w_3)\gamma_d} \quad (2.3)$$

4. Penyerapan air (*water absorption*)

$$WA = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan :

W1 = berat benda uji kering oven (gr)

W2 = berat benda uji jenuh kering permukaan (gr)

W3 = berat benda uji jenuh kering permukaan di dalam air (gr)

γ_d = berat volume air pada suhu 23° C kg/m³

B. Rumus perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus

1. Berat jenis curah, kering oven (*bulk specific gravity OD*)

$$BJ_{(OD)} = \frac{w_1}{(w_2 + w_4 - w_3)\gamma_d} \quad (2.5)$$

2. Berat jenis curah, jenuh kering permukaan (*bulk specific gravity SSD*)

$$BJ_{(SSD)} = \frac{w_4}{(w_2 + w_4 - w_3)\gamma_d} \quad (2.6)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$BJ_{(APP)} = \frac{w_4 - w_1}{w_1} \times 100\% \quad (2.7)$$

4. Penyerapan air (*water absorption*)

$$WA = \frac{w_1}{(w_2 - w_3)\gamma_d} \quad (2.8)$$

Keterangan:

W1 = berat benda uji kering oven (gr)

W2 = berat Picknometer + air + plat kaca (gr)

W3 = berat Picknometer + benda uji+ air + plat kaca (gr)

W4 = berat benda uji kering permukaan (gr)

γ_d = berat volume air pada suhu 23°C kg/m³

2.3.2 Analisa saringan

Analisa saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Tujuan pemeriksaan ini adalah untuk memperoleh distribusi butiran besar atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Pemeriksaan ini akan berpedoman dan mengacu pada (“sni-03-1968-1990.pdf,” n.d.) Rumus yang digunakan untuk menghitung analisa saringan butiran agregat adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{\text{Berat tertahan} \times 100}{\text{Jumlah berat tertahan}} \quad (2.9)$$

$$\text{Persentase lolos kumulatif} = \frac{100 - \text{Persentase tertahan}}{100} \times 100 \quad (2.10)$$

$$\text{Persentase halus butir} = \frac{\text{Total tertinggi kumulatif}}{100} \quad (2.11)$$

2.3.3 Berat isi agregat

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat volume agregat persatuan yang akan ditempati oleh agregat tersebut. Pemeriksaan ini mengacu pada (“SNI 03-4804-1998..”). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat volume} = M \frac{G-T}{V} \quad (2.12)$$

Keterangan:

M = Berat isi agregat dalam kondisi kering oven (kg/m³)

G = Berat agregat dan penakar (kg)

T = Berat penakar (kg)

V = Volume penakar (m³)

2.3.4 Limbah Beton Dan Limbah Aspal Beton

Limbah beton merupakan limbah hasil penghancuran beton struktur yang diambil dari pembangunan atau renovasi gedung dalam penelitian ini limbah yang digunakan adalah limbah beton dengan mutu 25 Mpa sisa sampel praktikum teknologi bahan konstruksi yang cenderung menjadi sampah di laboratorium Teknik sipil Universitas Malikussaleh. Limbah beton digunakan sebagai pengganti agregat dalam perkerasan jalan. Beton agregat daur ulang atau *Recycled Concrete Agregate (RCA)* merupakan beton yang terdiri dari bahan penyusun yang menggunakan agregat daur ulang dalam komposisi pembentuknya. Limbah beton ini dihancurkan dengan mesin *stone crusher* dan diayak sehingga didapatkan butiran-butiran agregat 3/4. Limbah aspal beton merupakan limbah yang berasal dari aspal beton hasil pengerukan jalan atau perbaikan jalan raya, limbah ini cenderung tidak dipakai dan hanya dijadikan material timbunan tanah atau bahkan dibuang dan tidak digunakan sama sekali. Penelitian ini menggunakan limbah aspal beton dari sampe sisa praktikum bahan jalan raya yang tidak dipakai lagi dan cenderung menjadi sampah seperti pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4



Gambar 2.3 limbah beton



Gambar 2.4 aspal

2.4 Pengujian Marshall (*Marshall Test*)

Pengujian *marshall* bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal dan kadar aspal optimum. Konsep ini dikembangkan oleh seorang insinyur bahan aspal bernama *Bruce Marshall* bersama dengan *The Mississippi State Highway Departement*.

Menurut (Spesifikasi Bina Marga, 2018.) nilai stabilitas minimal pada campuran beraspal adalah sebesar 800 kg dan besar nilai kelelahan sebesar 2-4 mm. Sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter berikut ini:

2.4.1 Kepadatan

Kepadatan (*Density*) merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai density suatu campuran menunjukkan bahwa semakin rapat kepadatan dari campuran aspal. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan baik dalam jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan aditif pada campuran aspal. penentuan kerapatan didapatkan dengan cara :

$$g = c / f \quad (2.13)$$

$$f = d - e \quad (2.14)$$

Keterangan :

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering / sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

2.4.2 *Void in mineral aggregate* (VMA)

Void in mineral aggregate (VMA) adalah rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif. Perhitungan *Void in mineral aggregate* (VMA) terhadap campuran ialah dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_S}{G_{sb}} \quad (2.15)$$

Keterangan :

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

2.4.3 Void in the mix (VIM)

Void in the mix atau VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat poros (berongga). Hal ini mengakibatkan campuran kurang rapat sehingga air dan udara mudah masuk kedalam rongga campuran aspal, sehingga aspal mudah teroksidasi yang menyebabkan lekatan antara butiran berkurang dan terjadi pelepasan butiran (*reveling*) serta pengelupasan pada lapisan permukaan. Volume rongga dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (2.16)$$

Keterangan :

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

2.4.4 Rongga terisi aspal (VFA)

Merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan atau persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal. Rumus VFA adalah sebagai berikut:

$$\text{VFA} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \quad (2.17)$$

Keterangan :

VFA = rongga udara yang terisi aspal, persentase dari VMA

VMA = rongga udara pada mineral agregat, persentase volume curah

VIM = rongga udara pada campuran setelah pemadatan, persentase total
Volume

2.4.5 Stabilitas *marshall* (*marshall stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat marshall test sewaktu melakukan pengujian *marshall*. Rumus untuk menentukan stabilitas *marshall* adalah sebagai berikut:

$$s = (p \times q \times r) \quad (2.18)$$

Keterangan :

s = Nilai stabilitas

p = Pembacaan jarum dial

q = Kalibrasi alat marshall

r = Angka koreksi benda uji

Adapun untuk angka korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.5 seperti yang terlampir dibawah ini.

Tabel 2. 5 Angka Korelasi

Isi benda uji (cm ³)	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	35,5	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

Isi benda uji (cm ³)	Tebal benda uji (mm)	Angka korelasi
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
445-470	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

2.4.6 Kelelehan (*flow*)

Flow adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel hancur. Nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan 0.01 mm. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal dan viskositas aspal, gradasi, suhu dan jumlah pemadatan. Semakin tinggi nilai *flow*, maka campuran akan semakin elastis. Sedangkan nilai *flow* rendah, maka campuran sangat potensial terhadap retak. Nilai *flow* dapat diketahui dengan cara membaca arloji pada alat *marshall*.

2.4.7 Hasil bagi *marshall* (*marshall quotient*)

Marshall quotient (MQ) merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekuatan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan, dengan demikian hasil *marshall quotient* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}} \quad (2.19)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Tahapan pelaksanaan penelitian dimulai dari Studi literatur berdasarkan jurnal dan buku yang sesuai dengan campuran *asphalt concrete-Binder Course* (AC-BC), Persiapan material yang digunakan seperti aspal dengan penetrasi 60/70, agregat kasar berupa limbah aspal beton dan limbah beton yang telah dipecahkan membentuk batu pecah ukuran 3/4 dan 3/8 yang dipersiapkan melalui seleksi agregat dan analisa saringan, agregat halus berupa pasir dan abu batu (*dust*), *filler* (semen Portland tipe I) untuk melakukan pengujian sifat fisis pada material. Pengujian sifat fisis pada material dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar dilakukan pengujian sifat fisis yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, berat volume padat dan berat volume gembur agregat kasar, serta pengujian analisa saringan agregat kasar. Pada pengujian sifat fisis agregat halus meliputi pengujian berat volume, padat dan gembur agregat halus, kadar air agregat halus, berat jenis dan pengujian analisa saringan. Setelah hasil dari pengujian sifat fisis material memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk campuran aspal, maka dilakukan perhitungan *mix design*. Pembuatan benda uji dilakukan dengan variasi limbah beton dan limbah aspal beton sebesar 0%, 50%, 75% dan 95% sesuai kadar aspal yang telah ditentukan, selanjutnya tahap perendaman benda uji kedalam bak perendaman selama 30 menit dan 24 jam. Setelah perendaman benda uji, dilakukan pengujian *marshall* untuk mendapatkan nilai-nilai parameter *marshall* seperti kerapatan (*density*), stabilitas, rongga terisi aspal (VFA), rongga antar butiran agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), *flow* dan *marshall quotient*. Pengolahan data sesuai dengan rumus persamaan *marshall*, sehingga dapat dihasilkan kesimpulan serta saran dan penelitian selesai. Tahapan pelaksanaan penelitian secara rinci diperlihatkan pada gambar C.9

3.2 Lokasi Penelitian

Pada Penelitian ini Material yang akan digunakan Merupakan Material yang Berasal dan Bersumber Seperti Agregat Kasar Berupa Batu Pecah Dan Dust diperoleh dari Desa Riseh Tunong, Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Utara dan Agregat Halus Berupa Pasir Diperoleh Dari Desa Matang Gelumpang 2, Kecamatan Peusangan Kabupaten Bieruen. Semen Portland Tipe 1 Dengan Merek Semen Padang Dan Aspal Penetrasi 60/70 Yang Berasal dari Iran dengan Merk Shell. Bahan Substitusi Berupa Limba Aspal Beton Dan Limbah Beton yang Diperoleh dari Sisa Praktikum Bahan Jalan Raya Dan Praktikum Tegnologi Bahan Kontruksi Dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, Kampus Bukit Indah.

3.3 Pengumpulan Data

Untuk melakukan penelitian, maka harus dikumpulkan referensi-referensi data yang berhubungan dengan masalah yang akan di teliti, khususnya tentang aspal AC-BC. Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data yang menjadi penunjang pada penelitian ini didapat dari buku, jurnal, artikel dan dari penelusuran penelitian terdahulu yang sudah dibaca sebelumnya.

3.3.1 Data primer

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan penelitian yang mengacu kepada petunjuk manual yang ada, misalnya dengan mengadakan penelitian pemeriksaan gradasi agregat, pemeriksaan sifat fisis agregat, data pengujian karakteristik marshall. Berikut merupakan Tabel 3.1 uraian dari data primer yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 3.1 Data Primer

No	Jenis data	Parameter	Cara perolehan	Sumber	Penggunaannya
1.	Sifat Fisis Agregat Kasar	W	Ditimbang	Hasil Uji Laboratorium	BJ WA (<i>water absorbtion</i>) Berat volume, Analisa saringan, Kadar air agregat.
2.	Sifat Fisis Agregat halus	W	Ditimbang	Hasil Uji Laboratorium	BJ WA (<i>water absorbtion</i>) Berat volume, Analisa saringan, Kadar air agregat.
3.	<i>Marshall</i> Tes	P	Uji <i>Marshall</i>	Hasil Uji Laboratorium	Kelelehan (<i>flow</i>) Parameter <i>Marshall</i>

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang sudah diolah atau data siap pakai yang diperoleh berdasarkan buku, jurnal, dan penelitian terdahulu atau penelitian sejenisnya berkaitan dengan camouran aspal beton AC-BC yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data sekunder didapatkan melalui studi literatur. Data-data sekunder dapat diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Data Skunder

No	Jenis data	Cara perolehan	Sumber	Fungsi
1.	Angka korelasi benda uji (<i>Stability</i>)	Studi literatur	SNI 06-2489-1991	Menghitung nilai stabilitas
2.	Kalibrasi alat <i>marshall</i>	Studi literatur	Sertifikat Kalibrasi	Menghitung nilai stabilitas dan nilai <i>marshall quotient</i>

3.4 Analisis dan Pengolahan Data

Dalam penelitian ini analisis dan pengolahan data dilakukan dengan mengikuti prosedur dari bagan alir penelitian yang tertera pada tahapan penelitian. Analisis data meliputi pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan *mix design*, variasi dan jumlah benda uji, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji.

3.4.1 Persiapan peralatan

Analisis data meliputi pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan *mix design*, variasi dan jumlah benda uji, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Analisis dan kebutuhan data diperoleh dari hasil pengujian.

A. Peralatan pemeriksaan sifat fisis material terdiri dari :

1. Saringan yang digunakan adalah satu set saringan, yaitu diperlihatkan pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Satu set Saringan

1. *Sieve shaker*, berfungsi sebagai pengayak atau digunakan untuk memisahkan partikel halus dan kasar dengan metode getar, dan dapat bergerak selama waktu yang ditentukan. *Sieve shaker* digunakan untuk menghitung analisa saringan agregat kasar dan agregat halus. *Sieve shaker* diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sieve Shaker

2. Gelas ukur digunakan untuk menghitung cairan dalam jumlah tertentu. Alat ini memiliki bentuk silinder dan setiap garis penanda pada gelas ukur

mewakili jumlah cairan yang telah terukur. Gelas ukur digunakan untuk mencari berat jenis dan penyerapan agregat halus. Gelas ukur diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Gelas Ukur

3. Plat kaca berfungsi sebagai penutup dari gelas ukur yang sudah terisi air dan material, plat kaca ditutup tanpa ada satu pun gelembung udara di dalamnya. Plat kaca digunakan dalam proses pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus. Plat kaca diperlihatkan pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Plat Kaca

4. Botol air suling digunakan dalam proses pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus. Botol air suling berfungsi untuk mengisi air di dalam gelas ukur yang sudah berisi material dan air sebelumnya, pada saat proses penutupan gelas ukur menggunakan plat kaca, gelas ukur diisi air menggunakan botol air suling agar tidak ada gelembung yang terperangkap di dalam gelas ukur. Botol air suling terbuat dari karet sehingga dapat di tekan untuk mengeluarkan air. Botol air suling diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Botol air suling

5. Oven digunakan untuk memanaskan material agar menjadi kering dengan waktu yang singkat dibandingkan dengan pengeringan material secara alami atau dijemur secara langsung di bawah sinar matahari, selain itu oven dapat melakukan proses sterilisasi dan lain-lain. Proses pemanasan pada oven dilakukan secara tertutup sehingga suhu pemanasan material dan waktu yang diperlukan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Oven diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Oven

6. Cawan digunakan sebagai wadah untuk material yang akan di keringkan menggunakan oven. Cawan digunakan pada saat pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar. Cawan diperlihatkan pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Cawan

7. Kerucut dan penumbuk digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus. Untuk menentukan agregat tersebut sudah dalam keadaan kering permukaan (SSD) atau belum, dapat dilakukan pemeriksaan dengan kerucut. Kerucut berbentuk terpacung, dengan bagian atas dan bawah terbuka. Kerucut dan penumbuk diperlihatkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Kerucut

8. Keranjang dunagen digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Agregat ditimbang dengan keranjang dunagen yang terendam air dalam bejana, bejana tersebut bisa diatur ketinggiannya sehingga merendam keranjang dunagen yang sudah terhubung dengan timbangan dan sudah di *tare* sebelum digunakan. Keranjang dunagen diperlihatkan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Dunagen set

9. Silinder sering juga disebut dengan literan digunakan untuk pemeriksaan berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus dan agregat kasar. Silinder berbentuk tabung yang terbuat dari besi tebal dan kokoh. Sebelum pemeriksaan berat isi/volume agregat dilakukan, silinder ditimbang terlebih dahulu dalam keadaan kosong. Silinder diperlihatkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Silinder

10. Mistar perata (*straigh edge*) digunakan pada saat pemeriksaan berat isi agregat halus dan agregat kasar. Mistar digunakan untuk meratakan agregat kasar ataupun agregat halus yang sudah diisi sebelumnya pada silinder/literan. Mistar perata terbuat dari material baja khusus yang tidak gampang melengkung dan patah. Mistar perata diperlihatkan pada Gambar 3.11



Gambar 3. 11 Mistar Perata

11. Kuas digunakan untuk membersihkan sisa-sisa agregat ataupun debu yang tertinggal di saringan pada saat pemeriksaan analisa saringan agregat halus dan agregat kasar. Saringan dengan diameter bukaan ayakan kecil dibersihkan menggunakan kuas sebelum dilanjutkan pemeriksaan untuk sampel selanjutnya agar data yang didapatkan akurat. Kuas diperlihatkan pada Gambar 3.12.



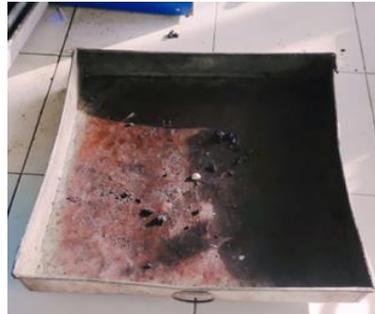
Gambar 3. 12 Kuas

12. Timbangan dengan ketelitian 1 gr digunakan untuk menimbang silinder yang berisi material pada pemeriksaan berat isi agregat halus dan kasar. Timbangan ini digunakan untuk menimbang sesuatu yang beratnya lebih dari 6.000 gr dan tidak bisa ditimbang dengan timbangan ketelitian 0,1gr. Timbangan ketelitian 1 gr diperlihatkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Timbangan ketelitian 1gr

13. Talam digunakan pada pemeriksaan berat isi agregat kasar dan halus. Agregat diletakkan pada talam untuk di quartering sebelum dimasukkan kedalam silinder. Talam digunakan agar agregat tidak tercampur dengan bahan-bahan asing yang tidak diinginkan. Talam diperlihatkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Talam

A. Peralatan pembuatan benda uji terdiri dari :

1. Cetakan benda uji (*mold*) berbentuk silinder berdiameter 101,6 mm (4") dan tinggi 75 mm (3"). Cetakan digunakan untuk mencetak benda uji yang sudah dipanaskan. Pada saat digunakan 2 cetakan ditumpuk, pada bagian bawah diletakkan penutup/alas dari cetakan yang mudah dilepaskan pada saat proses pemadatan benda uji. Cetakan diperlihatkan pada Gambar 3.15



Gambar 3. 15 Cetakan Benda Uji (*mold*)

2. *Marshall hammer* berdiameter 98,4 mm (37/8"), berat 4,5 kg dengan tinggi jatuh 457 mm (18"). *Marshall hammer* digunakan untuk memadatkan benda uji pada suhu pemadatan yang sudah diisi sebelumnya pada cetakan benda uji (*mold*) dengan cara ditumbuk. Penumbukkan dilakukan dengan menjatuhkan penumbuk dari ketinggian 457 mm. Benda

uji ditumbuk sebanyak 75 kali per lapisan. *Marshall hammer* diperlihatkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Marhall Hammer

3. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr digunakan untuk menimbang material dan juga untuk menimbang benda uji dalam keadaan kering atau kering permukaan. Timbangan digunakan pada saat pemeriksaan sifat fisis dan pada saat menimbang material sesuai dengan *mix design*. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr diperlihatkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr

4. *Thermometer* digunakan untuk mengukur suhu material yang sedang dipanaskan pada wajan pencampur. Batang dan rumah dial terbuat dari besi dan stainless, penunjuk suhu berbentuk jarum dial. *Thermometer* diperlihatkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Thermometer

5. Wajan pencampur digunakan sebagai wadah untuk memanaskan material dan berfungsi sebagai wadah untuk mencampur material dalam keadaan panas. Digunakan 2 wajan dalam penelitian ini, 1 wajan untuk memanaskan agregat kasar, agregat halus, filler, dan 1 wajan untuk memanaskan aspal dan plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Wajan pencampur diperlihatkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Wajan pencampur

6. Sendok pengaduk digunakan untuk mengaduk, mencampur dan memasukkan adukan aspal kedalam cetakan benda uji material yang ada di dalam wajan pencampur. Digunakan 2 sendok pengaduk dalam penelitian ini, 1 sendok untuk wajan agregat dan 1 sendok lagi digunakan untuk mencampur agregat dengan aspal. Sendok pengaduk diperlihatkan pada Gambar 3.20.



Gambar 3. 20 Sendok Pengaduk

7. Kompor gas digunakan untuk memanaskan material yang ada di dalam wajan pencampur. Kompor gas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kompor gas 2 tungku, dikarenakan memerlukan 2 wajan pencampur yang dipanaskan secara bersamaan. Kompor gas diperlihatkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Kompor Gas

B. Peralatan untuk uji parameter *marshall*, terdiri dari:

1. Mesin tekan (desak) terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*), cincin penguji berkapasitas 2500 kg yang dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001"). Cincin penguji dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flowmeter*) dengan ketelitian 0,25 cm (0,01").



Gambar 3. 22 Alat uji Marshall

2. Bak perendaman (*waterbath*) digunakan untuk merendam benda uji dengan suhu yang dapat disesuaikan. Pada penelitian ini benda uji direndam selama 30 menit dengan suhu perendaman 60°C. *Waterbath* diperlihatkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Waterbath

3.4.2 Material

Material yang digunakan adalah aspal, agregat kasar (limbah beton dan limbah aspal beton), agregat halus, *filler*. Material yang digunakan harus sesuai dengan Spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018.

A. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70 yang berasal dari Iran dengan merek Shell, karakteristik yang harus di miliki campuran aspal beton adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding.

2. Ketahanan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air atau perubahan temperatur.
3. Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi) dan pergerakan dari pondasi tanah dasar, tanpa adanya terjadi retakan.
4. Kekesatan/tahan geser (skid resistanse), adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip.
5. Mudah dikerjakan (workability), adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Aspal diperlihatkan pada gambar

B. Agregat Kasar

Beberapa karakteristik yang harus dimiliki oleh agregat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah sebagai berikut :

1. Fraksi agregat untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan no.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan.
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012
4. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instansi pencampuran aspal dengan menggunakan pemasok penampung (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik. Agregat kasar diperoleh dari limbah beton dan limbah aspal beton yang cenderung menjadi sampah di lingkungan laboratorium Teknik Sipil Unimal, Limbah tersebut di hancurkan sesuai ukuran agregat kasar 3/4 dan agregat 3/8 kemudian dibersihkan dan dilakukan seleksi agregat.

1. Limbah Beton

Limbah beton yang digunakan pada penelitian ini dengan lolos saringan $\frac{3}{4}$



Gambar 3. 24 Limbah beton

2. Limbah aspal beton yang digunakan pada penelitian ini dengan lolos saringan $\frac{3}{8}$



Gambar 3. 25 Limbah aspal beton

C. Agregat Halus

Agregat halus untuk pasir dan dust berasal dari PT Abad Jaya Agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan yang dipertimbangkan sesuai kualitas yang diinginkan pada spesifikasi yang digunakan. Beberapa persyaratan tersebut yaitu: ukuran partikel maksimum, berat jenis, kekasaran, absorpsi, gradasi agregat, bentuk partikel, dan kerentanan/ketahanan terhadap kelembaban. Agregat halus pada penelitian ini menggunakan material pasir yang diperlihatkan pada gambar 3.27.



Gambar 3. 26 Pasir

D. *Filler*

Filler adalah suatu agregat fraksi halus yang mengandung bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. *Filler* yang digunakan adalah semen *portland type I* dengan merek Semen Padang. Diperlihatkan pada gambar 3.28



Gambar 3. 27 Semen

3.4.3 Pemeriksaan sifat fisis material

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan meliputi, analisa saringan berat jenis dan berat isi. Pada penelitian ini hal yang dilakukan agar mendapatkan nilai parameter *marshall* pada campuran AC-BC adalah dengan melakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat sebagai berikut:

A. Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus

Pemeriksaan ini mengacu pada (“SNI-03-1968-1990.”) material yang digunakan sebanyak 3 sampel, kemudian benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110° C, selanjutnya saringan disusun dari ukuran yang paling besar diletakkan di tempat paling atas, saringan diguncang selama 15 menit, setelah itu diamkan selama 5 menit agar debu mengendap, setelah itu timbang untuk mengetahui berat material yang tertahan di masing-masing saringan.

B. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus

Pada prosedur pemeriksaan berat jenis agregat ini dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (batu pecah) pemeriksaan ini mengacu pada (“Standar-Nasional-Indonesia-Sni-Pengambilan-Contoh-Uji-2008.”) material yang digunakan sebanyak 3 sampel dengan berat 5 kg, kemudian batu pecah tersebut diayak, ambil material yang tertahan di saringan nomor 4, benda uji didapatkan dengan cara *quartering* (dibagi empat bagian). Kemudian cuci benda uji untuk menghilangkan debu-debu yang menempel setelah itu keringkan menggunakan oven dengan suhu 110° C, setelah itu keluarkan benda uji dari oven dan diamkan agar benda uji dingin, kemudian rendam benda uji selama 24 jam, setelah itu keringkan benda uji dengan cara di lap menggunakan kain, setelah benda uji kering timbang benda uji sebanyak 2500 gr, kemudian gantungkan keranjang dunagen dibawah timbangan, setelah itu atur bacaan timbangan menjadi 0 lalu masukkan benda uji, dan naikan bejana, kemudian keranjang digoyang-goyang untuk mengeluarkan gelembung udara yang tertangkap, kemudian catat berat nya, setelah itu keringkan benda uji.
2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus (pasir) pemeriksaan ini mengacu pada (“fdokumen.com_standar-nasional-indonesia-sni-pengambilan-contoh-uji-71-contoh-uji-diambil.pdf,” n.d.) untuk menentukan keadaan jenuh kering permukaan, material yang digunakan sebanyak 3 sampel, siapkan pasir sebanyak 5 kg kemudian lakukan *quartering* untuk memperoleh benda uji sebanyak 2 kg. Keringkan benda uji kedalam oven dengan suhu 110° C. Setelah itu rendam benda uji selama 24 jam, lalu buang air perendaman, lalu letakkan benda uji kedalam talam dan jemur menggunakan panas matahari, selanjutnya lakukan pemeriksaan kerucut untuk memeriksa keadaan kering permukaan. Untuk menentukan berat jenis agregat halus, timbang benda uji dengan berat 500 gr sebanyak 3 sampel, masukkan benda uji kedalam piknometer, tambahkan air sekitar

90% kedalam piknometer, lalu putar dan guncang piknometer untuk menghilangkan gelembung, setelah itu rendam piknometer kedalam air dan ukur suhu air rendaman untuk perhitungan terhadap suhu air standard 23°C . kemudian penuhkan piknometer, tutup dengan plat kaca hingga tidak ada gelembung, kemudian timbang piknometer, benda uji, air dan plat kaca. Keluarkan benda uji dan keringkan dengan oven, setelah kering timbang untuk melihat beratnya, selanjutnya isi piknometer dengan air dan rendam dengan bejana yang berisi air kemudian ukur suhu air rendaman untuk perhitungan terhadap suhu air standard 23°C , tutup piknometer dengan plat kaca pastikan tidak ada gelembung, kemudian timbang berat piknometer yang terisi air.

C. Pemeriksaan berat isi

Pemeriksaan ini mengacu pada (“SNI 03-4804-1998.”) material yang digunakan sebanyak 3 sampel, kemudian benda uji di keringkan dalam oven dengan suhu 110°C , untuk pemeriksaan berat volume padat, siapkan silinder kemudian letakkan silinder di tempat yang datar, untuk pemeriksaannya masukkan benda uji silinder dalam 3 lapis setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali menggunakan alat penumbuk, selanjutnya untuk pemeriksaan berat volume gembur, benda uji dimasukkan kedalam silinder sampai penuh dan ratakan, setelah itu timbang berat silinder berisi dengan benda uji.

3.4.4 Perencanaan campuran (*mix design*)

Tata cara perencanaan dan perhitungan campuran aspal mengacu pada (Spesifikasi Bina Marga,2018.) Perencanaan campuran merupakan perpaduan antara material-material penyusun aspal, perencanaan campuran berfungsi untuk mengetahui proporsi dalam pembuatan campuran aspal. Proporsi campuran bahan-bahan penyusun aspal ditentukan melalui perencanaan campuran (*mix design*) hal tersebut dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi spesifikasi teknis. Sebelum menyusun *mix design* diperlukan data gradasi campuran material sesuai dengan spesifikasi yang digunakan seperti pada Tabel 2.5. Perkiraan awal kadar aspal dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan

$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K$, di mana P_b merupakan kadar aspal tengah perkiraan, ($\%CA$) adalah agregat kasar tertahan saringan No.4 yang merupakan persentase dari CA ditambah dengan persentase MA, ($\%FA$) adalah agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan No.200 yang merupakan persentase dari dust ditambah persentase pasir, ($\%Filler$) adalah agregat halus lolos saringan No.200 yang merupakan persentase dari *filler* dan K merupakan nilai konstanta yang bernilai 0,5 sampai dengan 1,0 untuk lapisan AC (*Asphalt Concrete*).

3.4.5 Pembuatan benda uji

Pada penelitian ini memiliki 3 variasi, dan setiap sampel akan menggunakan variasi yang berbeda. Total keseluruhan benda uji adalah sebanyak 24 sampel. 15 sampel untuk mencari nilai kadar aspal optimum sebelum dilakukannya variasi limbah aspal beton dan limbah beton dan 9 sampel untuk masing-masing 3 variasi limbah dari besaran total agregat limbah yang telah di tentukan sebelumnya untuk mencari variasi mana yang memenuhi parameter *marshall* dan membuat perbandingan.

Tabel 3. 2 Jumlah benda uji untuk penentuan KAO

	Kadar Aspal Tengah				
	-1%	-0,50%	Pb	+0,50%	+1%
Benda uji	3	3	3	3	3
Jumlah benda uji	15				

Pada pengujian untuk mencari kadar aspal optimum digunakan 3 sampel pada setiap kadar aspal. Karena ada 5 kadar aspal, jadi jumlah benda uji untuk KAO adalah sebanyak 15 sampel.

Tabel 3. 3 Jumlah benda uji untuk variasi

No. Variasi	% variasi dari berat limbah		Jumlah Benda Uji
	Limbah beton	Limbah aspal	
Variasi 1 (0% atau aspal normal)	0 %	0%	3 Sampel

Variasi 2 (50%)	50 %	50 %	3 Sampel
	75 %	25 %	3 Sampel
	25 %	75 %	3 Sampel
	0 %	100 %	3 Sampel
	100 %	0 %	3 Sampel
Variasi 3 (75%)	50 %	50 %	3 Sampel
	75 %	25 %	3 Sampel
	25 %	75 %	3 Sampel
	0 %	100 %	3 Sampel
	100 %	0 %	3 Sampel
Variasi 4 (95%)	50 %	50 %	3 Sampel
	75 %	25 %	3 Sampel
	25 %	75 %	3 Sampel
	0 %	100 %	3 Sampel
	100 %	0 %	3 Sampel
Total benda uji variasi			48 Sampel

Pada pengujian untuk variasi substitusi limbah beton dan limbah aspal beton digunakan 3 sampel per variasi. Variasi yang digunakan yaitu sebesar 50%, 75%, dan 95%. Jumlah benda uji untuk variasi substitusi limbah aspal beton dan limbah beton adalah sebanyak 48 sampel.

Pembuatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan acuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pembuatan benda uji terdiri dari 2 tahap, tahap pertama yaitu pembuatan benda uji KAO (Kadar Aspal Optimum). Nilai yang didapatkan dari pengujian benda uji KAO digunakan untuk pembuatan benda uji tahap dua yaitu benda uji yang menggunakan limbah beton dan limbah aspal beton sebagai substitusi sebagian aspal pada campuran aspal beton AC-BC.

Pembuatan benda uji KAO dan benda uji aspal modifikasi adalah sama secara garis besar. Pembuatan benda uji dimulai dengan pemecahan limbah menggunakan palu yang sudah dikumpulkan sampai menjadi bahan substitusi.

Agregat untuk campuran beraspal harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material penyusun. Agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal ditimbang sesuai dengan *mix design* yang sudah ditentukan. Untuk aspal modifikasi jumlah agregat dikurangi dan digantikan dengan limbah aspal beton dan limbah beton sesuai variasi yang sudah ditentukan.

Jumlah agregat kasar, agregat halus dan *filler* adalah 1.200gram untuk komposisi tiap-tiap benda uji. Pembuatan benda uji KAO hanya aspal yang

dipanaskan hingga mencapai suhu 150°C tanpa campuran limbah aspal beton dan limbah beton kemudian dicampurkan dengan agregat yang sudah dipanaskan sebelumnya. Untuk pembuatan benda uji dengan menggunakan substitusi limbah beton dan limbah aspal beton dilakukan dengan memanaskan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* hingga mencapai suhu 160°C. limbah aspal beton dan limbah beton yang telah di pecahkan membentuk agregat kasar selanjutnya dijadikan campuran mix desaing sesuai variasi yang telah di tentukan sebelumnya. Campuran tersebut di masukkan ke dalam cetakan yang telah diolesi oli sebelumnya. Agar memiliki permukaan yang bagus, masukkan campuran yang lebih halus pada bagian atas dan bawah, dan campuran yang lebih kasar berada di tengah lapisan. Dilakukan pemadatan standar pada suhu 145°C dengan alat penumbuk sebanyak 75 tumbukan pada setiap permukaan benda uji. Benda uji di dinginkan terlebih dahulu, setelah itu dikeluarkan dari cetakan dengan *ejector*.

3.4.6 Pengujian benda uji

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengujian benda uji dengan menggunakan alat *marshall* adalah benda uji yang telah dipadatkan harus diberi tanda pengenal agar tidak tertukar dengan benda uji pada variasi lain. Tanda pengenal dibuat menggunakan *correction pen* pada permukaan benda uji.

Benda uji ditimbang dalam keadaan kering untuk mengetahui berat keringnya, ditulis dengan simbol c pada Tabel pengujian *marshall*. Benda uji direndam dalam bak perendaman selama 24 jam. Benda uji yang dikeluarkan dari bak perendam dan dilap sampai permukaan benda uji tersebut kering, kemudian ditimbang untuk mengetahui berat dalam keadaan kering permukaan, ditulis dengan simbol d pada tabel pengujian *marshall*. Benda uji kemudian ditimbang di dalam air dengan menggunakan keranjang dunagen untuk mengetahui berat benda uji di dalam air, ditulis dengan simbol e pada tabel pengujian *marshall*. Benda uji diukur ketebalannya menggunakan jangka sorong, ditulis dengan simbol t pada tabel pengujian *marshall*.

Benda uji direndam di dalam *waterbath* selama 30 menit dengan suhu 60°C. Benda uji dikeluarkan dari *waterbath* lalu diletakkan di segmen bawah kepala

penekan alat uji *marshall*. Segmen atas dipasang di atas benda uji. *Flowmeter* dipasang pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun. Kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin alat uji *marshall*, kemudian diatur kedudukan jarum dial tepat pada angka nol. Penekanan dimulai sampai pembebanan maksimum tercapai pada saat dial pembebanan berhenti dan mulai berputar menurun. Pada saat itu juga dilakukan pembacaan dial *flow*. Setelah pembebanan selesai, segmen atas diangkat dan benda uji dikeluarkan dari kepala penekan.

Parameter yang dihitung dimulai dari *density*, hal yang pertama dilakukan adalah mencari nilai volume benda uji yaitu dengan cara mengurangi berat benda uji kering permukaan (SSD) dengan berat benda uji di dalam air. Setelah nilai volume benda uji diperoleh, dilanjutkan dengan menghitung *density* menggunakan persamaan 2.13 dan 2.14 dengan cara berat kering benda uji dibagi dengan berat volume benda uji.

Untuk mencari nilai VMA menggunakan persamaan 2.15, terlebih dahulu menghitung nilai J_{cur} (volume agregat terhadap benda uji), yaitu 100 dikurang kadar aspal terhadap campuran dikalikan dengan nilai *density* kemudian dibagi berat jenis agregat curah dan diperoleh nilai J_{cur} dan dilanjutkan dengan menghitung VMA yakni dengan cara 100 dikurang J_{cur} .

Untuk mencari nilai VIM menggunakan persamaan 2.16, yaitu 100 dikali B_j maksimum teoritis dikurang dengan nilai *density* kemudian dibagi dengan B_j maksimum teoritis.

Untuk mencari nilai VFA menggunakan persamaan 2.17, yaitu dengan cara mengurangi nilai VMA dengan nilai VIM dibagi dengan nilai VMA dan dikali dengan 100.

Selanjutnya mencari *stability* menggunakan persamaan 2.18, pada tabel pengujian *marshall* nilai *stability* ditulis dengan simbol n (units) diperoleh dengan cara pembacaan dial stabilitas pada alat *marshall*, setelah angka dari pembacaan dial diperoleh dilanjutkan dengan mencari nilai dari parameter stabilitas yakni dengan cara angka yang sudah diperoleh dari pembacaan dial stabilitas dikali dengan kalibrasi *proving ring* (alat *marshall*) yang didapatkan dari sertifikat

kalibrasi, setelah diperoleh hasilnya kemudian dikali dengan angka korelasi benda uji pada tabel 2.6.

Untuk mencari nilai parameter *flow* dapat diperoleh secara langsung dengan cara pembacaan jarum dial *flow* pada alat *marshall*. Selanjutnya untuk mencari nilai MQ menggunakan persamaan 2.19 yaitu nilai *stability* dibagi dengan nilai *flow*.

3.5 Penelusuran Penelitian Terdahulu

Pada penelitian (Harnaeni, 2016) penggunaan limbah beton diperoleh: Keausan limbah beton 20,60%., Berat jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis semu dan penyerapan limbah beton berturut-turut 2,45; 2,52; 2,62 dan 2,8%, Kelekatan aspal terhadap limbah beton 100% b. Hasil pengujian campuran AC-BC dengan menggunakan limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar menunjukkan bahwa seiring bertambahnya jumlah kadar limbah beton nilai stabilitas, *flow*, VMA dan VIM cenderung naik, sementara nilai MQ dan VFWA cenderung turun.

Pada Penelitian (Prawiro et al., n.d.) Hasil penelitian menunjukkan, hanya dengan prosentase limbah beton 10% campuran aspal AC-BC memenuhi spesifikasi. Nilai VIM mencapai 4,90% masih berada pada rentang interval 3-5% yang disyaratkan. Nilai VFB terpenuhi pada persentase limbah beton 10-40%. Nilai VMA terpenuhi pada semua variasi persentase limbah beton. Sedangkan, nilai MS, *Flow*, dan MQ terpenuhi pada semua persentase limbah beton. Campuran dengan limbah beton ini dapat dipergunakan pada ruas jalan yang mempunyai beban lalu lintas kategori ringan.

Pada penelitian (Siang and Makmur, 2020a) Pemanfaatan limbah beton pada campuran beraspal berpori, dengan kadar limbah yang cukup besar, dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran beraspal tersebut. Walaupun pada kadar limbah 25% nilai stabilitas turun sebesar 5,43%, pada kadar limbah yang lebih tinggi stabilitas benda uji mengalami peningkatan. Peningkatan stabilitas benda uji dengan kadar limbah 50%, 75%, dan 100% berturut-turut adalah 37%, 15,19%, dan 2,11%. Limbah beton meningkatkan *flow* campuran beraspal berpori. Benda uji dengan kadar limbah 25% mengalami peningkatan *flow* sebesar 5,58%.

Demikian pula untuk bendabenda uji dengan kadar limbah 50% dan 75%, yang mengalami peningkatan *flow* berturut-turut sebesar 11,55% dan 8,17%. Tetapi pada kadar limbah 100%, *flow* benda uji turun sebesar 13,75%.

Pada penelitian (“Wirahaji dan Laintarawan,2019) dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penggunaan agregat RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat disimpulkan bahwa KAO yang dihasilkan dari penggunaan RAP 40% tidak dapat ditemukan. hal ini dapat disebabkan karena bahan RAP yang mengandung bitumen dan butiran menjadi lebih kecil dari keadaan semula, sehingga mempengaruhi nilai VIM pada campuran aspal porus. RAP cocok digunakan untuk penggantian agregat halus karena butiran tersebut jika dipanaskan akan menjadi lebih kecil, RAP tidak cocok digunakan untuk penggantian agregat medium (5-10 mm).

Pada Penelitian (Prawiro et al., 2014.) Nilai proporsi campuran agregat kasar antara batu pecah dengan limbah beton yang optimum adalah 0% batu pecah dan 100% limbah beton. Untuk Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7.5%. Penggunaan limbah beton dapat meningkatkan nilai stabilitas. Dari nilai stabilitas benda uji dengan batu pecah 100% yaitu sebesar 449.517 kg menjadi 659.894 kg menggunakan limbah beton 100%. Penambahan Gilsonite tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai koefisien permeabilitas perkerasan Aspal Porus

Pada Penelitian (Ayu Deanita Putri.,2018) analisa saringan untuk menentukan komposisi agregat dengan spesifikasi AAPA (2004). Didapat komposisi campuran agregat tiap-tiap fraksi 45% (10-15mm), 40% (RAP 5-10mm), 11% (0-5 mm), dan filler 4%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode marshall dan permeabilitas untuk mengetahui karakteristik campuran. Hasil penelitian menunjukkan dengan penggunaan RAP didapat stabilitas 654.50 kg, flow 3.3 mm, dan permeabilitas 0.15 cm/dt. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran aspal porus dengan RAP memberikan hasil yang baik pada stabilitas, flow, dan permeabilitas, dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh AAPA (2004).

Pada penelitian (Sulianti.,2020) Nilai Stabilitas tertinggi terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah

beton $f_c'50$, sebesar 1969,4 kg/mm dan terjadi pada kadar aspal 6%. Nilai VIM terbaik terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah beton $f_c'50$, dengan nilai sebesar 5,11% dan terjadi pada kadar aspal 7%. Nilai VMA tertinggi terhadap campuran AC – BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah beton $f_c'42$, sebesar 15,06% dan terjadi pada kadar aspal 7%. Nilai MQ tertinggi terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah $f_c'42$, sebesar 347,3 dan terjadi pada kadar aspal 6,5%. Limbah beton mutu $f_c'50$ dengan kadar aspal 7% memiliki kualitas terbaik di antara tiga variasi mutu beton dan memiliki nilai parameter Marshall yang mendekati.

Pada penelitian (Mohamad Purwoko Sidi.,2020) tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,89% pada agregat alami dan 5,94% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, Flow 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, Marshall Quotient 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC–WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

Tabel 3. 4 Penelitian Terdahulu

Penulis dan Judul	Spesifikasi	Hasil
(Senja Rum Harnaeni , Isyak Bayu M) Karakteristik Marshall Asphalt concrete-binder course (AC BC) dengan menggunakan limbah beton sebagai Pengganti agregat Kasar	Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya Jumlah kadar limbah beton nilai stabilitas, flow, VMA dan VIM cenderung naik, sementara nilai MQ dan VFWA cenderung Turun

<p>(Ida bagus Wirahaji dan Iputu Laintarawan) Karakteristik Marshall AC-BC dengan substitusi limbah beton pada agregat kasar</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan, hanya dengan prosentase limbah beton 10% campuran aspal AC-Bc memenuhi spesifikasi. Campuran dengan limbah beton ini dapat dipergunakan pada ruas jalan yang mempunyai beban lalu lintas kategori ringan</p>
<p>(Rista Siang dan Amelia Makmur) Pengaruh Penggunaan limbah beton terhadap parameter marshall campuran beraspal berpori.</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010</p>	<p>Nilai stabilitas, meningkat pada kadar limbah yang lebih tinggi sedangkan nilai dengan kadar limbah yang cukup besar, dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran beraspal tersebut.</p>
<p>(Ayu Deanita Putri Yogie Risdianto) Pemakaian Limbah Aspal sebagai Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Porus</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 dan AAPA (2004)</p>	<p>Nilai VIM dan VMA semakin meningkat seiring bertambahnya kadar Limbah beton sedangkan VFA menurun</p>
<p>(Rudy Santosa , Bambang Sujatmiko , Dhevin Baswara Hendatama) Pengaruh Karakteristik Campuran Asphalt Concrete – Binder Course pada Paket Pembangunan Jalan Sumberjo Sidodadi Jember</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga 2018</p>	<p>Dari hasil pengujian yang dilakukan maka diperoleh nilai stabilitas dan VIM meningkat, sedangkan VFA menurun</p>
<p>(Mohamad Purwoko Sidi Bambang Wedyantadji MohammadnErfan) Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc)</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga 2018</p>	<p>Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, Flow 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, Marshall Quotient 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC-WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.</p>

<p>(Ika Sulianti) STUDI PEMANFAATAN LIMBAH BETON MUTU TINGGI PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)</p>	<p>Spesifikasi Umum Bina Marga 2018</p>	<p>Limbah beton mutu $f_c'50$ dengan kadar aspal 7% memiliki kualitas terbaik di antara tiga variasi mutu beton dan memiliki nilai parameter Marshall yang mendekati, yang berarti limbah dengan mutu tinggi bisa digunakan untuk perkerasan AC-BC</p>
--	---	---

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil penelitian ini meliputi beberapa tahapan dimulai dengan pemeriksaan agregat kasar dan halus, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil pengujian *marshall* standar campuran aspal beton AC-BC yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

4.1.1 Sifat fisis material

Pemeriksaan sifat fisis material dilakukan untuk mengetahui kelayakan pemakaian material sebagai bahan campuran untuk aspal beton.

A. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap agregat kasar batu pecah 3/4, kemudian diperoleh data-data dari hasil pemeriksaan tersebut yang berguna untuk perhitungan berat jenis, data tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data berat jenis batu pecah ¾

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
		Gram			
1	Berat benda uji kering jenuh (BJ)	2.500	2.500	2.500	2.500
2	Berat benda uji kering oven (BK)	2.455	2.446	2.448	2.450
3	Berat benda uji dalam air (BA)	1.569	1.553	1.549	1.573

Data-data berat jenis batu pecah 3/4 yang diperlihatkan pada Tabel 4.1 di atas digunakan untuk berhitung dengan menggunakan persamaan 2.1 (*bulk*), 2.2 (*SSD*), 2.3 (*apparent*) dan 2.4 (*absorpsi*). Maka diperoleh nilai hasil perhitungan seperti yang diperlihatkan pada

Tabel 4. 2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (batu pecah 3/4)

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,5	-	2,573	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,643	M
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,5	-	2,735	M
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	2,041	M

di mana:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Pada Tabel 4.2 diperoleh hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air batu pecah 3/4 yang memenuhi spesifikasi sehingga agregat tersebut dapat digunakan, kemudian setelah itu dilanjutkan dengan batu pecah 3/8, untuk data berat jenis batu pecah 3/8 diperlihatkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Data berat jenis batu pecah 3/8

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
		Gram			
1	Berat benda uji kering jenuh (BJ)	2.500	2.500	2.500	2.500
2	Berat benda uji kering oven (BK)	2.429	2.433	2.436	2.432
3	Berat benda uji dalam air (BA)	1.528	1.532	1.535	1.531

Data-data berat jenis batu pecah 3/8 di atas digunakan untuk dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.1 (*bulk*), 2.2 (SSD), 2.3 (*apparent*) dan 2.4 (*absorpsi*), maka diperoleh nilai hasil perhitungan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (batu pecah 3/8)

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,5	-	2,512	M

2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,582	M
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,5	-	2,700	M
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	2.813	M

di mana:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Pada Tabel 4.4 diperoleh hasil dari perhitungan menggunakan data berat jenis pada Tabel 4.3 dan hasil keseluruhan untuk batu pecah 3/8 memenuhi spesifikasi, sehingga agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran aspal.

B. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Agregat halus pasir dan *dust* yang digunakan untuk pemeriksaan berat jenis harus memiliki mutu yang baik dan bersih dari tanah dan kotoran lainnya. setelah dilakukan pemeriksaan terhadap agregat halus pasir, kemudian diperoleh data-data dari hasil pemeriksaan tersebut yang berguna untuk perhitungan berat jenis, data tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data berat jenis pasir

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
		Gram			
1	Berat benda uji kering jenuh (SSD)	500	500	500	500
2	Berat benda uji kering oven (BK)	492	491	491	491
3	Berat piknometer + air + plat kaca (B)	2007	2007	2007	2007
4	Berat piknometer + benda uji + air + plat kaca (BT)	2.322	2.324	2.324	2.323

Data-data berat jenis pasir yang diperlihatkan pada Tabel 4.5 dihitung dengan persamaan 2.5 (*bulk*), 2.6 (SSD), 2.7 (*apparent*) dan 2.8 (*absorpsi*), maka diperoleh nilai hasil perhitungan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air (pasir)

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,5	-	2,678	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,722	M
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,5	-	2,803	M
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	1.674	M

di mana:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Pada Tabel 4.6 di atas diperoleh hasil dari perhitungan berat jenis pasir, hasilnya memenuhi spesifikasi sehingga agregat tersebut dapat digunakan untuk campuran aspal beton. Kemudian setelah itu dilanjutkan dengan abu batu (*dust*), untuk data berat jenis *dust* diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data berat jenis *dust*

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
		Gram			
1	Berat benda uji kering jenuh (SSD)	500	500	500	500
2	Berat benda uji kering oven (BK)	490	492	490	491
3	Berat piknometer + air + plat kaca (B)	2.007	2.007	2.007	2.007
4	Berat piknometer + benda uji + air + plat kaca (BT)	2312	2316	2314	2314

Data-data berat jenis *dust* yang diperlihatkan pada Tabel 4.7 dihitung dengan persamaan 2.5 (*bulk*), 2.6 (SSD), 2.7 (*apparent*) dan 2.8 (*absorpsi*), maka diperoleh nilai hasil perhitungan seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air *dust*

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil
		Min	Max	

1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,5	-	2.543	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2.591	M
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,5	-	2.672	M
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	1.903	M

C. Pemeriksaan berat isi

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat isi agregat dalam kondisi gembur dan padat. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil rata-rata dari tiga contoh agregat yang sama, pengujian berat isi dilakukan untuk mengetahui sifat fisis atau karakteristik dari agregat yang akan digunakan dalam campuran aspal beton dan hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil pemeriksaan berat isi agregat

No	Jenis Agregat	Gembur	Padat	Satuan
1	Agregat kasar (3/4)	1.431	1.573	gram/cm ³
3	Agregat sedang (3/8)	1.303	1.450	gram/cm ³
5	Agregat halus (<i>dust</i>)	1.620	1.813	gram/cm ³
6	Agregat halus (pasir)	1.614	1.705	gram/cm ³

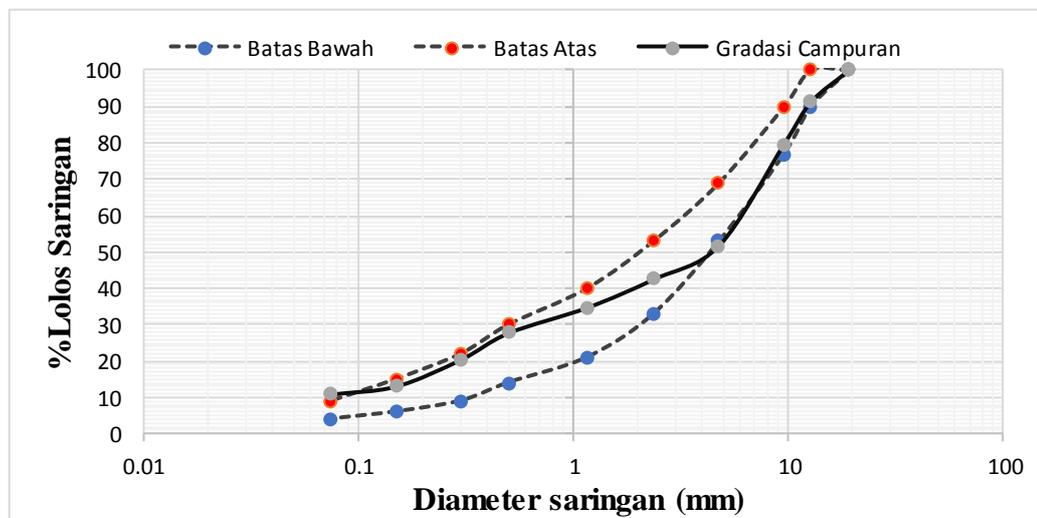
Dari hasil pengujian tersebut diperoleh berat isi agregat kasar (batu pecah 3/4) pada kondisi gembur yaitu 1.431 gram/cm³ dan berat isi pada kondisi padat yaitu 1.573 gram/cm³, berat isi agregat kasar (batu pecah 3/8) pada kondisi gembur yaitu 1.303 gram/cm³ dan berat isi pada kondisi padat yaitu 1.450 gram/cm³, berat isi agregat halus (*dust*) pada kondisi gembur yaitu 1.620 gram/cm³ dan berat isi pada kondisi padat yaitu 1.813 gram/cm³, berat isi agregat halus (pasir) pada kondisi gembur yaitu 1.614 gram/cm³ dan berat isi pada kondisi padat yaitu 1.705 gram/cm³. Pada pengujian ini tidak terdapat nilai batasan minimal dan maksimal.

D. Penentuan gradasi campuran

Dari hasil pengujian analisa saringan diperoleh hasil agregat kasar batu pecah 3/4 dan 3/8, agregat halus pasir dan *dust* serta *filler* memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sehingga desain gradasi agregat untuk campuran beraspal AC-WC dapat dilanjutkan. Untuk tabel penentuan gradasi campurannya diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Tabel gradasi campuran

Ayakan	Ukuran	% Lolos					% Mix Design					Total mix	Spek Revisi 3	
		CA (3/4")	MA (3/8")	Dust	Pasir	filler	CA 27	MA 28	Dust 30	Pasir 10	filler 5		100	Min
3/4"	19.1	100	100	100	100	100	27.00	28.00	30.00	10.00	5.0	100.00	100	100
1/2"	12.7	68	100	100	99	100	18.32	28.00	30.00	9.95	5.0	91.27	90	100
3/8"	9.52	26	100	100	97	100	6.98	28.00	29.94	9.75	5.0	79.67	77	90
No. 4	4.75	18	10	99	95	100	4.82	2.67	29.80	9.53	5.0	51.83	53	69
No. 8	2.36	18	7	73	89	100	4.81	2.05	21.80	8.91	5.0	42.57	33	53
No. 16	1.16	17	6	53	77	100	4.72	1.59	15.80	7.70	5.0	34.80	21	40
No. 30	0.5	17	5	36	59	100	4.66	1.49	10.80	5.87	5.0	27.82	14	30
No. 50	0.3	17	4	22	31	100	4.66	1.12	6.56	3.15	5.0	20.49	9	22
No.100	0.15	17	3	7	6	100	4.66	0.75	2.16	0.59	5.0	13.16	6	15
No. 200	0.075	17	1	3	2	100	4.57	0.37	0.80	0.24	5.0	10.99	4	9



Gambar 4. 1 Grafik gradasi campuran

4.1.1 Benda uji

Pembuatan benda uji adalah tahap yang dilakukan setelah pembuatan *mix design* selesai dilakukan, setelah itu masuk ke tahap penentuan kadar aspal tengah untuk pembuatan benda uji. Tata cara pembuatan benda uji ini mengacu kepada Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

Setelah didapatkan hasil persentase lolos saringan terhadap masing-masing gradasi butiran baik agregat kasar, agregat halus maupun *filler*, seperti yang tertera dalam Tabel 4.6 maka agregat kasar menempati porsi 55%, agregat halus 40% dan 5% *filler*. Maka dapat dihitung kadar aspal rencana (P_b) menggunakan persamaan 2.13 dan diperoleh perkiraan rentang kadar aspal rencana seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perkiraan kadar aspal

-1%	-0,50%	P_b	+0,50%	+1%
4	4,5	5	5,5	6

Berdasarkan nilai kadar aspal diatas, dilakukan perhitungan proporsi untuk campuran komposisi aspal beton. Untuk komposisi campuran setiap variasi yaitu sebagai berikut:

A. Komposisi campuran aspal beton dengan kadar aspal 4% KAO

Dikarenakan berat aspal 4% (48 gr) maka untuk mendapatkan total campuran dengan berat 1200 gr yaitu dengan cara total campuran dikurang dengan berat aspal, kemudian hasilnya kalikan dengan masing-masing persentase agregat. Untuk tabel komposisi aspal beton diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Komposisi aspal beton 4% KAO

Bahan	Persen %	Berat (Gr)
CA	27	311,04
MA	28	322,56
<i>Dust</i>	30	345,6
Pasir	10	115,2
<i>Filler</i>	5	57,6
Aspal	6	48
Total		1200

B. Komposisi campuran aspal beton dengan kadar aspal 4,5% KAO

Dikarenakan berat aspal 4,5% (54 gr) maka untuk mendapatkan total campuran dengan berat 1200 gr yaitu dengan cara total campuran dikurang dengan berat aspal, kemudian hasilnya kalikan dengan masing-masing persentase agregat. Untuk tabel komposisi aspal betonnya diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Komposisi aspal beton 4,5% KAO

Bahan	Persen %	Berat (Gr)
CA	27	309,42
MA	28	320,88
<i>Dust</i>	30	343,8
Pasir	10	114,6
<i>Filler</i>	5	57,3
Aspal	4,5	54
Total		1200

C. Komposisi campuran aspal beton dengan kadar aspal 5% KAO

Dikarenakan berat aspal 5% (60 gr) maka untuk mendapatkan total campuran dengan berat 1200 gr yaitu dengan cara total campuran dikurang dengan berat aspal, kemudian hasilnya dikalikan dengan masing-masing persentase agregat. Untuk tabel komposisi aspal betonnya diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Komposisi aspal beton 5% KAO

Bahan	Persen %	Berat (Gr)
CA	27	307,8
MA	28	319,2
<i>Dust</i>	30	342
Pasir	10	114
<i>Filler</i>	5	57
Aspal	5	60
Total		1200

D. Komposisi campuran aspal beton dengan kadar aspal 5,5% KAO

Dikarenakan berat aspal 5,5% (66 gr) maka untuk mendapatkan total campuran dengan berat 1200 gr yaitu dengan cara total campuran dikurang dengan berat

aspal, kemudian hasilnya dikalikan dengan masing-masing persentase agregat. Untuk tabel komposisi aspal betonnya diperlihatkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Komposisi aspal beton 5,5% KAO

Bahan	Persen %	Berat (Gr)
CA	27	306,18
MA	28	317,52
<i>Dust</i>	30	340,2
Pasir	10	113,4
<i>Filler</i>	5	56,7
Aspal	5,5	66
Total		1200

E. Komposisi campuran aspal beton dengan kadar aspal 6% (KAO)

Dikarenakan berat aspal 6% (72 gr) maka untuk mendapatkan total dari campuran dengan berat 1200 gr yaitu dengan cara total campuran dikurang dengan berat aspal, kemudian hasilnya dikalikan dengan masing-masing persentase agregat. Untuk tabel komposisi aspal betonnya diperlihatkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Komposisi aspal beton 6% KAO

Bahan	Persen %	Berat (Gr)
CA	27	304,56
MA	28	315,84
<i>Dust</i>	30	338,4
Pasir	10	112,8
<i>Filler</i>	5	56,4
Aspal	6	72
Total		1200

F. Komposisi campuran aspal beton dengan variasi limbah beton dan limbah aspal. Dikarenakan pada nilai kadar aspal optimum sebelumnya itu didapatkan KAO 6% (72 gr) maka untuk perhitungan limbah aspal dan limbah beton yang disubstitusikan sebagai agregat kasar maka dikalikan persen variasi limbah dengan berat agregat kasar, untuk komposisi campuran aspal beton dengan menggunakan limbah beton dan limbah aspal pada aspal dengan kadar variasi 50%, 75% dan 95% diperlihatkan pada:

Tabel 4. 17 Komposisi aspal beton dengan variasi 50 %

Benda Uji (Variasi 50%)	CA (gr)	MA (gr)	Dust (gr)	Pasir (gr)	Filler (gr)	Aspal (gr)	Limbah Beton (gr)	Limbah Aspal (gr)	Total (gr)
Normal	304,56	318,84	338,40	112,8	56,4	72	0	0	1200
Limbah beton 50 % Limbah aspal 50 %	152,28	159,42	338,40	112,8	56,4	72	152,28	338,40	1200
Limbah beton 75% Limbah aspal 25%	76,16	239,1	338,40	112,8	56,4	72	228,4	79,71	1200
Limbah beton 25% Limbah aspal 75%	79,71	228,4	338,40	112,8	56,4	72	76,14	239,13	1200
Limbah beton 0% Limbah aspal 100%	304,56	159,42	338,40	112,8	56,4	72	0	159,42	1200
Limbah beton 100% Limbah aspal 0%	152,28	318,84	338,40	112,8	56,4	72	152,28	0	1200

Tabel 4. 18 Komposisi aspal beton dengan variasi 75 %

Benda Uji (Variasi 75%)	CA (gr)	MA (gr)	Dust (gr)	Pasir (gr)	Filler (gr)	Aspal (gr)	Limbah Beton (gr)	Limbah Aspal (gr)	Total (gr)
Normal	304,56	318,84	338,40	112,8	56,4	72	0	0	1200
Limbah beton 50 % Limbah aspal 50 %	190,35	199,27	338,40	112,8	56,4	72	114,21	119,57	1200
Limbah beton 75% Limbah aspal 25%	187,25	259,06	338,40	112,8	56,4	72	117,31	59,78	1200
Limbah beton 25% Limbah aspal 75%	247,46	139,49	338,40	112,8	56,4	72	57,10	179,35	1200
Limbah beton 0% Limbah aspal 100%	304,56	79,71	338,40	112,8	56,4	72	0	239,14	1200
Limbah beton 100% Limbah aspal 0%	76,14	318,84	338,40	112,8	56,4	72	228,42	0	1200

Tabel 4. 19 Komposisi aspal beton dengan variasi 95 %

Benda Uji (Variasi 95%)	CA (gr)	MA (gr)	Dust (gr)	Pasir (gr)	Filler (gr)	Aspal (gr)	Limbah Beton (gr)	Limbah Aspal (gr)	Total (gr)
Normal	304,56	318,84	338,40	112,8	56,4	72	0	0	1200
Limbah beton 50 % Limbah aspal 50 %	159,9	167,4	338,40	112,8	56,4	72	144,66	151,44	1200
Limbah beton 75% Limbah aspal 25%	87,57	243,12	338,40	112,8	56,4	72	216,99	75,72	1200
Limbah beton 25% Limbah aspal 75%	232,23	91,67	338,40	112,8	56,4	72	72,33	227,17	1200
Limbah beton 0% Limbah aspal 100%	304,56	15,11	338,40	112,8	56,4	72	0	302,89	1200
Limbah beton 100% Limbah aspal 0%	15,51	318,84	338,40	112,8	56,4	72	289,33	0	1200

4.1.2 Parameter *marshall* kadar aspal optimum (KAO)

Nilai *density*, VMA, stabilitas dan MQ memenuhi spesifikasi dan nilai VIM, VFA, *flow* tidak memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 4% dan 4,5%. Nilai *density*, VMA, stabilitas, *flow*, MQ memenuhi spesifikasi dan nilai VIM, VFA yang tidak memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5%. Nilai *density*, VMA, VFA, stabilitas dan MQ memenuhi spesifikasi dan nilai VIM dan *flow* yang tidak memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,5% dan pada kadar aspal 6% semua nilai dari parameter *marshall* memenuhi ketentuan seperti diperlihatkan pada Tabel 4.16.

Pada Tabel 4.16 diperlihatkan nilai dari hasil parameter *marshall* untuk benda uji KAO yang memenuhi spesifikasi dan yang tidak memenuhi spesifikasi. Dari hasil pengujian diperoleh kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu dengan kadar aspal 6% seperti diperlihatkan pada Tabel 4.17 Tabel 4.20 Hasil pengujian *marshall* untuk nilai KAO

Tabel 4.20 Grafik KAO parameter *marshall*

Kriteria	Spesifikasi	4%	4.50%	5%	5.50%	6%
Density	-					
VMA	min15					
VIM	3.0-5.0					
VFA	min 65					
STABILIT	min 1000					
FLOW	2.0-4.0					
MQ	250					

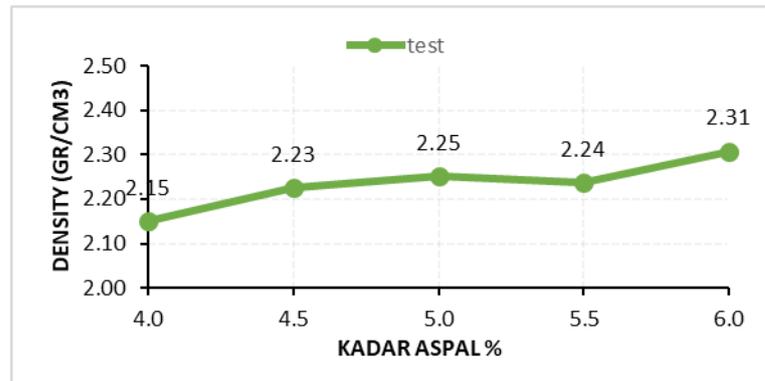
Tabel 4. 21 Tabel hasil KAO

Kadar aspal optimum didapatkan dari kadar aspal terbaik yang memenuhi semua spesifikasi parameter *marshall* terletak pada 6%. Penjelasan secara rinci untuk seluruh parameter *marshall* yaitu sebagai berikut:

Parameter <i>Marshall</i>	Kadar aspal (6%)									
	4,0		4,5		5,0		5,5		6,0	
<i>Density</i> (gr/cm ³)	2.15	M	2.22	M	2.25	M	2.23	M	2.30	M
VMA (%)	21,5	M	19,1	M	18,6	M	18,6	M	19,5	M
VIM (%)	14,7	TM	11,1	TM	9,53	TM	9,52	TM	6,06	M
VFA (%)	31,3	TM	41,7	TM	49,0	TM	51,2	M	66,0	M
Stability (Kg)	1754	M	1737	M	1853	M	1908	M	1843	M
<i>Flow</i> (Mm)	367	M	3,29	M	3.35	M	3.93	M	3.74	M
MQ (kg/mm)	483	M	528	M	558	M	489	M	504	M

A. *Density*

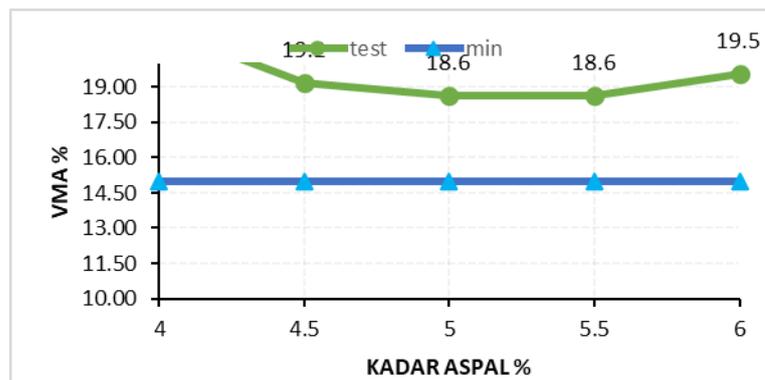
Pada bagian *density* nilai minimum dan maksimum parameter *marshall* tidak dibatasi yang artinya semua hasil dari setiap persen kadar aspal untuk nilai *density* memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik KAO (Density)

B. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

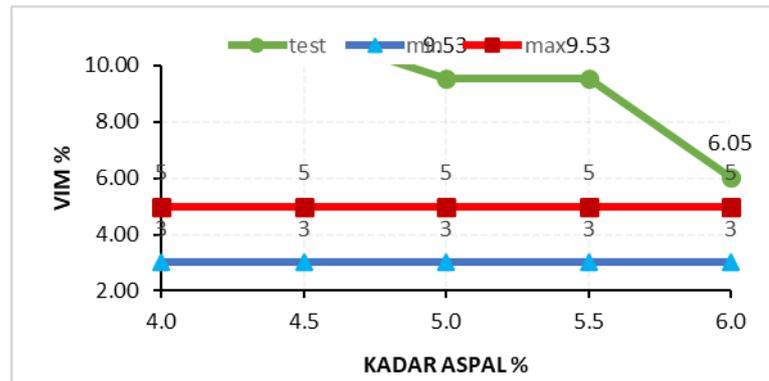
Nilai minimum parameter *marshall* untuk *Void In Mineral Aggregate (VMA)* adalah 14% dan nilai maksimum tidak dibatasi, hal tersebut berarti hanya pada kadar aspal 6% yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik KAO (VMA)

C. *Void In The Mix (VIM)*

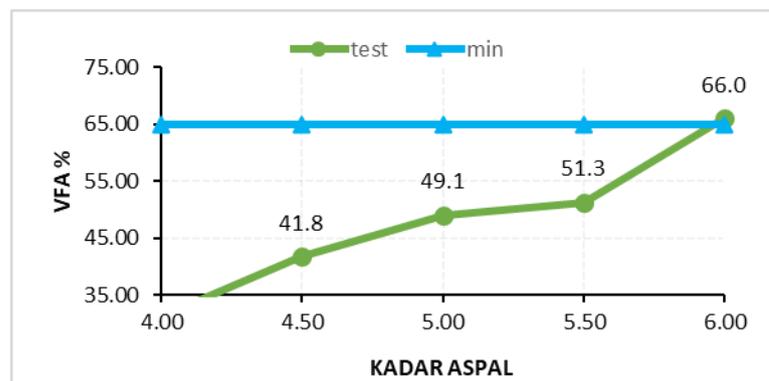
Nilai minimum pada *Void In The Mix (VIM)* adalah 3% sedangkan nilai maksimum adalah 5%, hal tersebut berarti pada kadar aspal 5,5% dan 6% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 sedangkan pada kadar aspal 4%, 4,5% dan 5% tidak memenuhi spesifikasi karena nilai yang diperoleh dari kadar aspal tersebut melewati nilai maksimum, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik KAO (VIM)

D. (VIM) Void Filled With Asphalt (VFA)

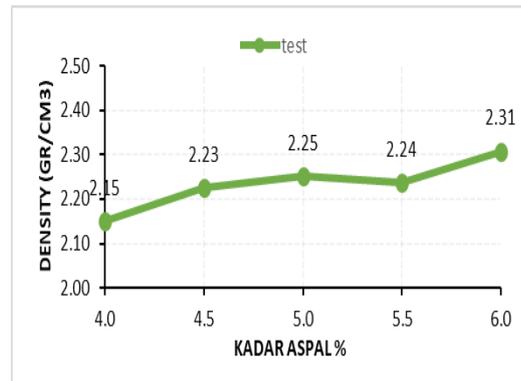
Nilai minimum parameter *marshall* untuk VFA adalah 65% sedangkan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Pada kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% menunjukkan nilai VFA memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sedangkan pada kadar aspal 4% dan 4,5% tidak memenuhi karena nilai VFA yang diperoleh tidak mencapai nilai minimum, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Grafik KAO (VFA)

E. Stabilitas

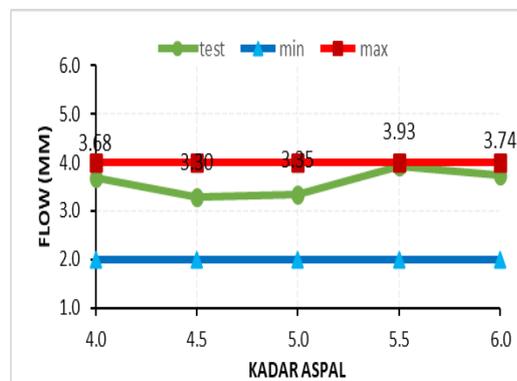
Nilai stabilitas memiliki nilai minimum sebesar 800 kg dan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Untuk nilai stabilitas pada aspal dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6% memenuhi spesifikasi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik KAO (Stabilitas)

F. Flow

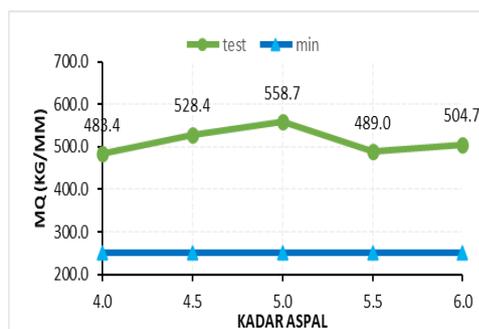
Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *flow* adalah 2 mm dan nilai maksimum adalah 4 mm, hal tersebut berarti semua kadar aspal pada pengujian tersebut memenuhi spesifikasi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik KAO (Flow)

G. Marshall Quotient (MQ)

Pada *marshall quotient* nilai minimum yang disyaratkan untuk parameter *marshall* adalah 250 kg/mm dan nilai maksimum tidak dibatasi, hasil memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, seperti diperlihatkan 8



4.1.3 Parameter *marshall* dengan substitusi Limbah Aspal dan Limbah Beton

Dari hasil pengujian untuk Kadar Aspal Optimum (KAO) didapat nilai kadar aspal 6% selanjutnya dilakukan pengujian dengan substitusi sebagian aspal menggunakan variasi limbah aspal beton dan limbah beton 0%, 50%, 75% dan 95%.

Hasil yang diperoleh dari pengujian *marshall* dengan variasi substitusi sebagian aspal menggunakan limbah aspal beton dan limbah beton diperoleh hasil bahwa tidak semua variasi memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian *marshall* untuk variasi substitusi diperlihatkan pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 50%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (6%)									
			50% -50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2.314	M	2.318	M	2.238	M	2.270	M	2.359	M
2	VMA (%)	Min 14	15.3	M	15.1	M	18.0	M	16.9	M	13.6	M
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	3.4	M	3.2	M	6.6	TM	5.2	TM	1.5	TM
4	VFA (%)	Min 65	77,7	M	78,7	M	63,7	M	69.8	M	89.3	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	1719	M	1708	M	2099	M	1752	M	1541	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	4.3	TM	4.4	TM	5.6	TM	4.8	TM	5.3	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	400	M	382	M	369	M	359	M	288	M

di mana:

M = Memenuhi

TM = Tidak Memenuhi

Dari hasil pengujian *marshall* didapat nilai parameter *marshall* diantaranya nilai *density*, VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ, kemudian nilai tersebut dimasukkan kedalam tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.23

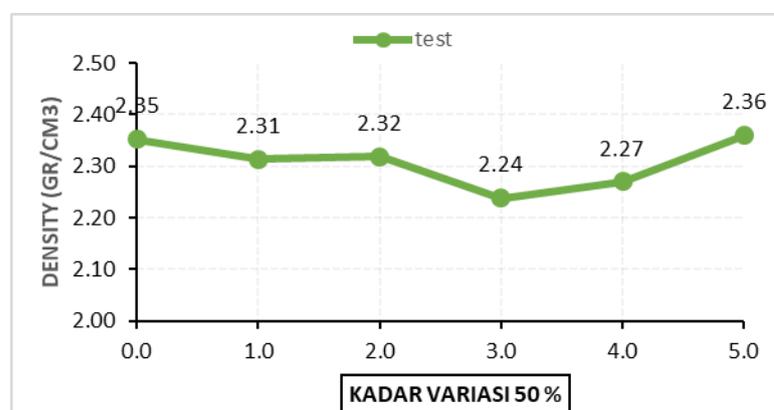
Tabel 4. 23 Grafik variasi parameter marshall

Kriteria	Spesifikasi	0%	1%	2.0%	3%	4.0%	5%
Density	-						
VMA	min14						
VIM	3.0-5.0						
VFA	min 65						
STABILIT	min 1000						
FLOW	2.0-4.0						
MQ	Min 250						

Pada tabel 4.19 diperlihatkan hasil dari variasi yang telah dilakukan pengujian *marshall* pada variasi 50% dengan sub variasi 50% limbah beton-50% limbah aspal ,75% limbah beton-25 limbah aspal, 25% limbah beton-75% limbah aspal,100% limbah beton-0% limbah aspal, 0% limbah beton dan 100% limbah aspal , tidak memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan,. Penjelasan secara rinci untuk parameter *marshall* yaitu sebagai berikut:

A. *Density*

Nilai minimum dan maksimum untuk *density* tidak dibatasi, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan nilai yang signifikan terhadap besarnya variasi limbah aspal beton dan limbah beton yang digunakan, hal ini sesuai dengan penelitian (Prawiro et al., n.d.)

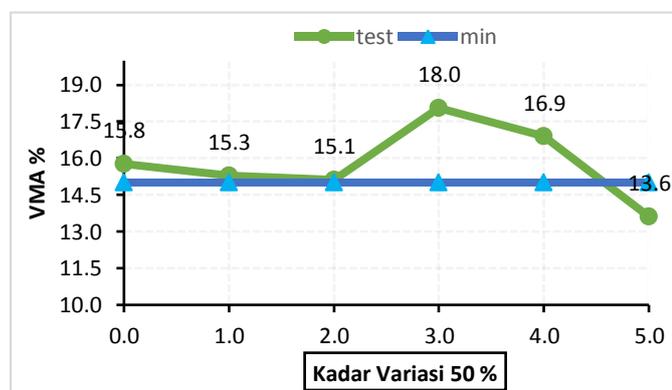
Gambar 4.8 Grafik variasi (*Density*)

Nilai *density* menunjukkan bahwa kerapatan semakin bagus pada variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal dengan nilai 2,360 gram lalu pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal nilai *density* menurun dengan nilai

2,240 gram pada variasi 100% limbah aspal beton dan 0% limbah aspal nilai density dengan nilai 2,270 gram dan pada variasi 50% limbah aspal beton dan 50% limbah beton kemudian variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal nilai tidak jauh berbeda dengan nilai density 2,310 dan 2,320 gram.

B. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

Nilai minimum parameter *marshall* untuk *Void In Mineral Aggregate (VMA)* adalah 14% dan nilai maksimum tidak dibatasi, nilai pada variasi 50%. Nilai semua variasi mencapai nilai minimum yang disyaratkan spesifikasi yang berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Wiyogo, Amal and Alamsyah (2021).

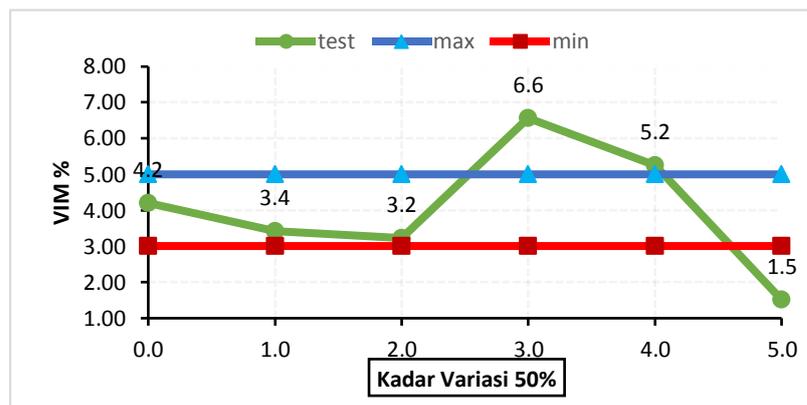


Gambar 4.9 Grafik variasi (VMA)

Nilai VMA menunjukkan bahwa rongga diantara partikel agregat ketika melewati nilai minimal spesifikasi 14 % maka rongga agregat semakin bagus pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal meningkat sebesar 18,04% lalu pada variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal nilai density menurun dengan nilai 15,1 %, pada variasi 100% limbah aspal beton dan 0% limbah aspal nilai dengan nilai dan pada variasi 50% limbah aspal beton dan 50% limbah beton kemudian variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal nilai tidak jauh berbeda dengan nilai density 2,310 dan 2,320 gram.

C. *Void In The Mix (VIM)*

Nilai minimum pada *Void In The Mix (VIM)* adalah 3% dan nilai maksimum adalah 5%, hal tersebut berarti pada 50% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, variasi 50 % tidak memenuhi spesifikasi karena nilai yang diperoleh melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan, hal ini sesuai dengan penelitian (Siang and Makmur, 2020b).

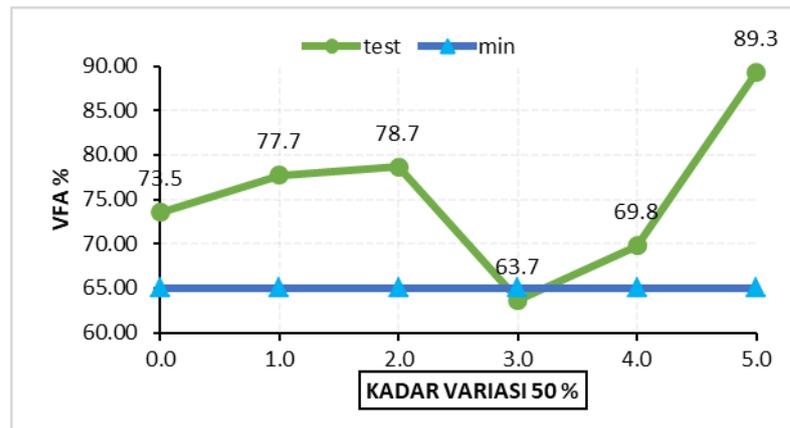


Gambar 4.10 Grafik variasi (VIM)

Nilai VIM pada pengujian variasi 50% substitusi limbah aspal beton dan limbah beton pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal melewati nilai maksimum parameter VIM dengan nilai 6,6 % yang artinya semakin tinggi nilai vim makan semakin cepat terjadi kerusakan pada perkerasan dikarenakan rongga pada aspal yang tinggi dan mudah keropos

D. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

Nilai minimum parameter *marshall* untuk VFA adalah 65% dan nilai maksimum tidak dibatasi. Pada semua variasi yang telah dilakukan pengujian menunjukkan nilai VFA memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian (Siang and Makmur, 2020b).

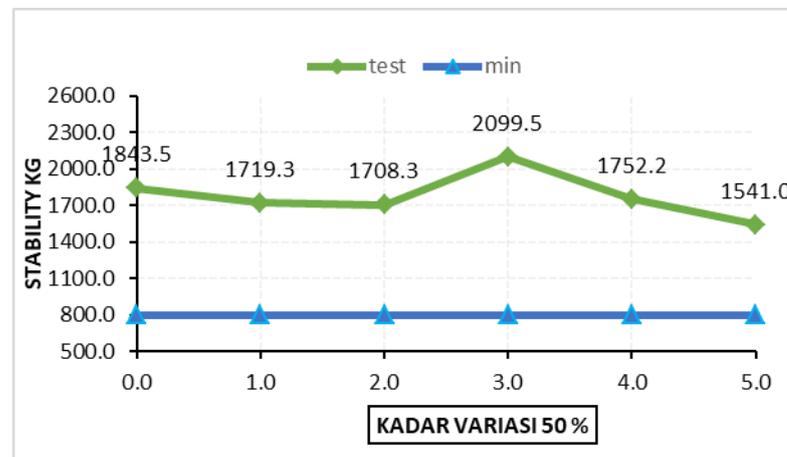


Gambar 4.11 Grafik variasi (VFA)

Pada variasi 50 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai VFA meningkat pada variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal yaitu 89,3%, sedangkan variasi 25% limbah beton dan 25% limbah aspal beton nilai VFA tidak memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu 63,7%.

E. Stabilitas

Nilai minimum parameter *marshall* untuk stabilitas adalah sebesar 1000 kg dan nilai maksimum tidak dibatasi. Dari hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas dengan variasi 50% seperti diperlihatkan pada Gambar 4.13 menunjukkan nilai stabilitas mencapai nilai minimum yang telah ditetapkan, hal ini berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).

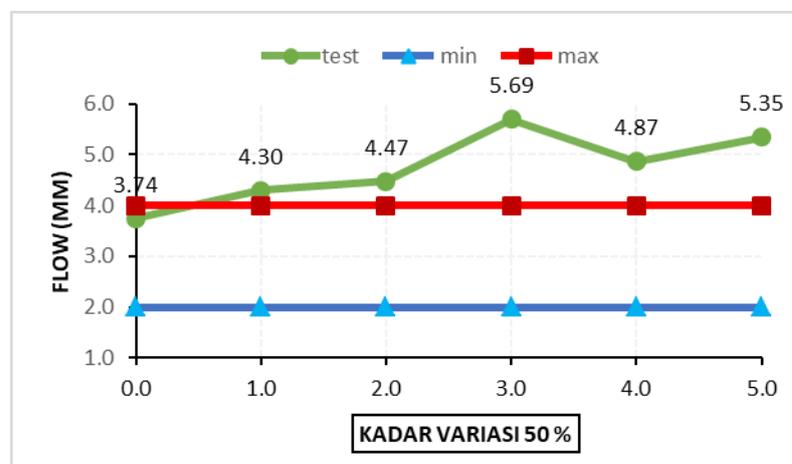


Gambar 4.12 Grafik variasi (Stabilitas)

Pada variasi 50 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai stabilitas aspal meningkat pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal yaitu 2099,5 Kg semua variasi limbah beton dan limbah aspal beton memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu dengan minimum 1000 Kg dan nilai stabilitas aspal paling rendah terdapat pada variasi 100% limbah aspal beton dan 0% limbah beton.

F. *Flow*

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *flow* adalah 2 mm dan nilai maksimum adalah 4 mm, hal tersebut berarti semua kadar aspal pada pengujian tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020)



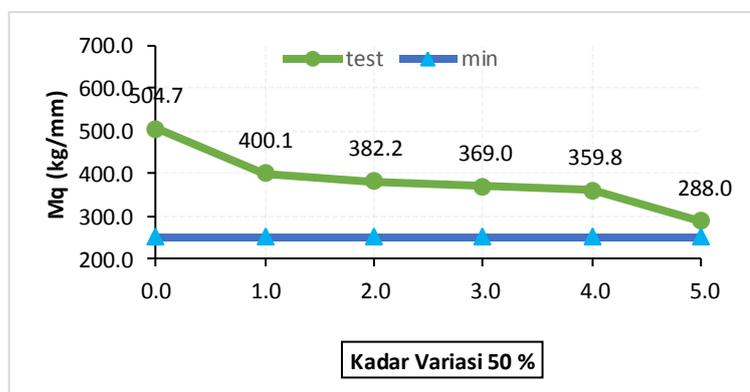
Gambar 4.13 Grafik variasi (*Flow*)

Pada variasi 50 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai flow pada semua sub variasi melewati nilai maksimum spesifikasi flow yaitu 4mm yang artinya tidak memenuhi spesifikasi bina marga, nilai flow berkisar antara 4-5 mm dimana nilai yang tinggi akan menyebabkan aspal mudah keropos karna rongga pada aspal yang besar sehingga perkerasan cepat mengalami kerusakan.

G. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *marshall quotient* adalah 250 kg/mm dan nilai maksimum tidak dibatasi, hal tersebut berarti pada

variasi 50 memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).



Gambar 4.14 Grafik variasi (MQ)

Pada variasi 50% limbah beton dan limbah aspal beton semua sub variasi memenuhi parameter marshall, semua variasi menunjukkan bahwa nilai MQ berada diatas nilai minimum spesifikasi yaitu 250 kg/mm. Variasi dengan nilai MQ paling tinggi terdapat pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton dengan nilai MQ 400,1 kg/mm dan nilai paling rendah pada variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton yaitu 288,0 kg/mm.

Setelah nilai dari indikator parameter *marshall* diperoleh selanjutnya adalah merangkumkan hasilnya kedalam sebuah tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.23 Nilai dari parameter *marshall* yang telah dilakukan pengujian pada semua variasi aspal yang menggunakan Limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada variasi 50% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yang berarti pada variasi tersebut limbah aspal beton dan limbah beton tidak dapat dimanfaatkan sebagai campuran agregta kasar pada lapis perkerasan AC-BC.

Tabel 4. 24 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 75%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> ₃ (gr/cm ³)	-	2.216	M	2.281	M	2.296	M	2.369	M	2.281	M
2	VMA (%)	Min 14	18.8	M	16.5	M	15.9	M	13.3	TM	16.5	M

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	7.5	M	4,8	M	4.1	M	1.1	TM	4.8	M
4	VFA (%)	Min 65	60.4	TM	71.0	M	74.1	M	91.6	M	70.9	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	1523	M	1836	M	2058	M	1880	M	2189	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	4.3	TM	3.4	M	3.8	M	4.4	TM	4.6	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	348	M	534	M	539	M	419	M	473	M

di mana:

M = Memenuhi

TM = Tidak Memenuhi

Dari hasil pengujian *marshall* didapat nilai parameter *marshall* diantaranya nilai *density*, VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ, kemudian nilai tersebut dimasukkan kedalam tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.25

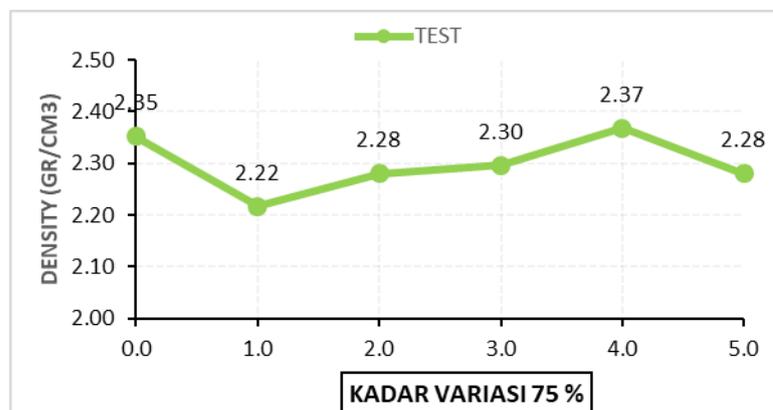
Tabel 4. 25 Grafik variasi parameter marshall

Kriteria	Spesifikasi	0%	1%	2.0%	3%	4.0%	5%
Density	-						
VMA	min14						
VIM	3.0-5.0						
VFA	min 65						
STABILIT	min 1000						
FLOW	2.0-4.0						
MQ	Min250						

Pada tabel 4.25 diperlihatkan hasil dari variasi yang telah dilakukan pengujian *marshall* pada variasi 75% dengan sub variasi 50% limbah beton-50% limbah aspal, 75% limbah beton-25% limbah aspal, 25% limbah beton-75% limbah aspal, 100% limbah beton-0% limbah aspal, 0% limbah beton dan 100% limbah aspal, variasi yang memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan adalah pada variasi 75% limbah aspal beton-25% limbah aspal beton dan variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton. Penjelasan secara rinci untuk parameter *marshall* yaitu sebagai berikut:

A. Density

Nilai minimum dan maksimum untuk *density* tidak dibatasi, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan nilai yang signifikan terhadap besarnya variasi limbah aspal beton dan limbah beton yang digunakan, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).

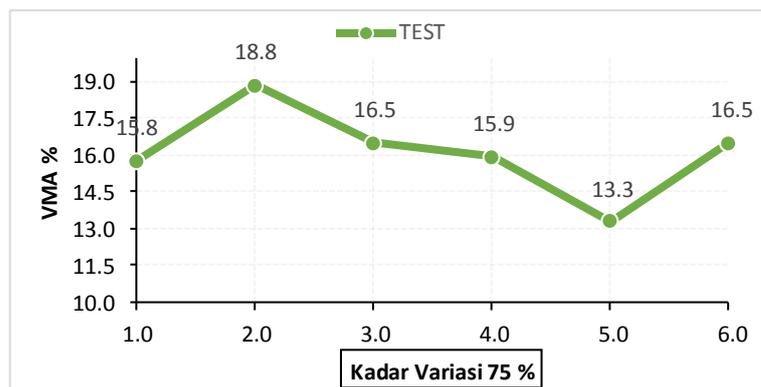


Gambar 4. 15 Grafik variasi (Density)

Nilai density menunjukkan bahwa kerapatan semakin bagus pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan nilai 2,30 gram lalu pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal dengan nilai density 2,37 gram kemudian pada sub variasi lainnya berurutan dengan nilai density 2,22 gram, 2,28 gram dan pada su variasi 5 sebesar 2,28 gram juga.

B. Void In Mineral Aggregate (VMA)

Nilai minimum parameter *marshall* untuk *Void In Mineral Aggregate* (VMA) adalah 14% dan nilai maksimum tidak dibatasi, nilai pada variasi 75%.Nilai semua variasi mencapai nilai minimum yang disyaratkan spesifikasi yang berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Wiyogo, Amal and Alamsyah (2021).

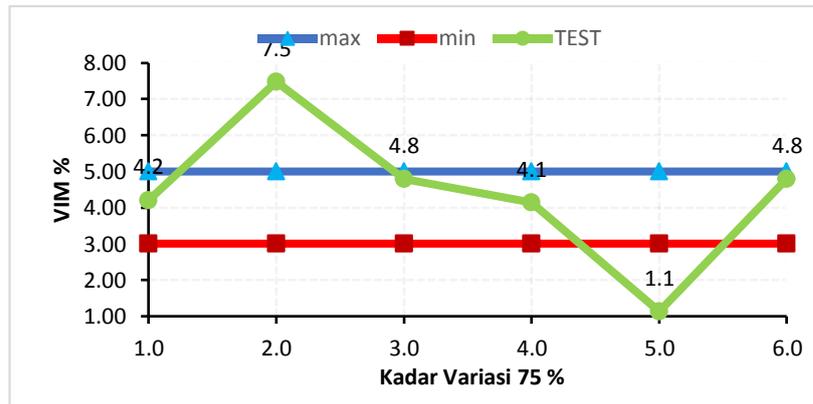


Gambar 4. 16 Grafik variasi (VMA)

Nilai VMA pada variasi 75% limbah beton dan limbah aspal menunjukkan bahwa rongga diantara partikel agregat ketika melewati nilai minimal spesifikasi 14 % maka semakin bagus, pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal meningkat sebesar 4% dari nilai minimum spesifikasi lalu pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal nilai VMA menurun dengan nilai 13,3 %, dan tidak memenuhi nilai parameter minimum VMA.

C. *Void In The Mix* (VIM)

Nilai minimum pada *Void In The Mix* (VIM) adalah 3% dan nilai maksimum adalah 5%, hal tersebut berarti pada 75% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, variasi 75% tidak memenuhi spesifikasi karena nilai yang diperoleh melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan, akan tetapi pada sub variasi lainnya nilai VIM memenuhi parameter marshall, hal ini sesuai dengan penelitian Situngkir and Amin (2020).

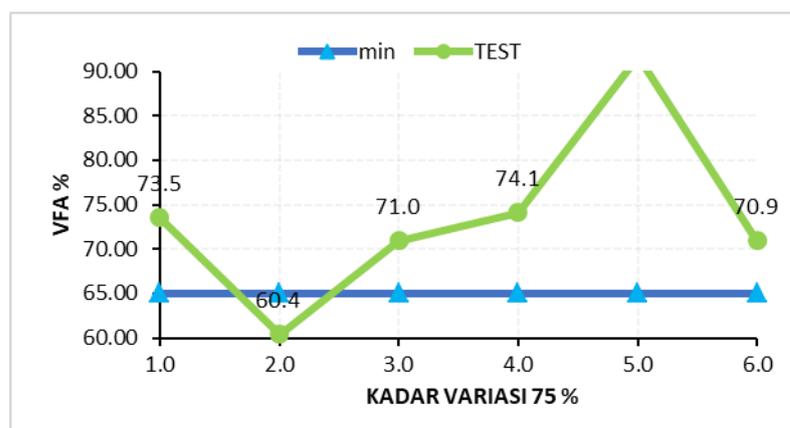


Gambar 4. 17 Grafik variasi (VIM)

Nilai VIM pada pengujian variasi 75% substitusi limbah aspal beton dan limbah beton pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal melewati nilai maksimum parameter VIM dengan nilai 7,5 % yang artinya semakin tinggi nilai vim makan semakin cepat terjadi kerusakan pada perkerasan dikarenakan rongga pada aspal yang tinggi dan mudah keropos, kemudian pada variasi 100% limbah beton tidak nilai VIM menurun dan tidak memenuhi spesifikasi dengan nilai VIM 1,1 %.

D. Void Filled With Asphalt (VFA)

Nilai minimum parameter *marshall* untuk VFA adalah 65% dan nilai maksimum tidak dibatasi. Pada semua variasi yang telah dilakukan pengujian menunjukkan nilai VFA memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Veranita, Tripoli and Fitriani (2020).

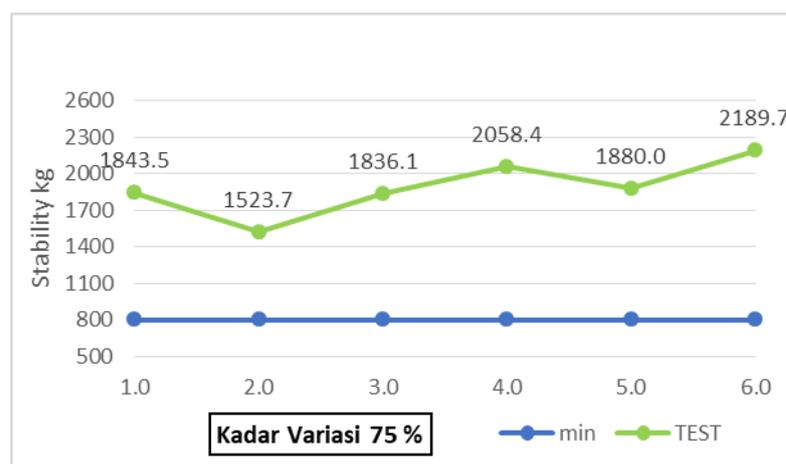


Gambar 4. 18 Grafik variasi (VFA)

Nilai VFA Pada variasi 75 % limbah aspal beton dan limbah beton, nilai VFA tidak memenuhi pada variasi 50% limbah betn dan 50% limbah aspal beton yaitu dengan nilai VFA 60,4 %, Kemudian nilai VFA meningkat pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal yaitu 91,61%, sedangkan variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton nilai VFA memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu 71,7%.

E. Stabilitas

Nilai minimum parameter *marshall* untuk stabilitas adalah sebesar 1000 kg dan nilai maksimum tidak dibatasi. Dari hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas dengan variasi 75% seperti diperlihatkan pada Gambar 4.19 menunjukkan nilai stabilitas mencapai nilai minimum yang telah ditetapkan, hal ini berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).

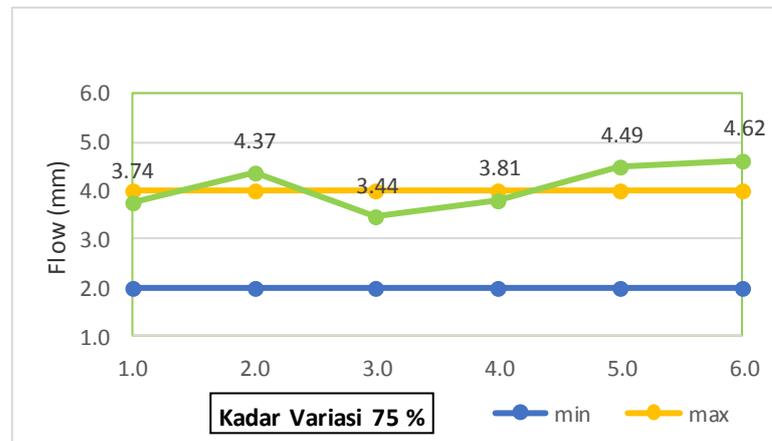


Gambar 4. 19 Grafik variasi (Stabilitas)

Pada variasi 75 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai stabilitas aspal meningkat pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal yaitu 2058,4 Kg semua variasi limbah beton dan limbah aspal beton memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu dengan minimum 1000 Kg dan nilai stabilitas aspal paling rendah terdapat pada variasi 50% limbah aspal beton dan 50% limbah beton yaitu 1523,7 Kg.

F. Flow

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *flow* adalah 2 mm dan nilai maksimum adalah 4 mm, hal tersebut berarti semua kadar aspal pada pengujian tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020)

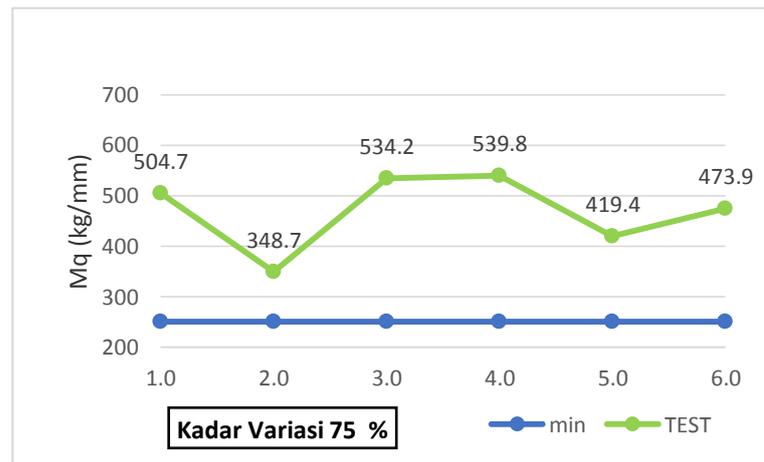


Gambar 4. 20 Grafik variasi (Flow)

Pada variasi 75 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai flow pada sub variasi 50% limbah aspal beton dan limbah beton tidak memenuhi spesifikasi yaitu 4,37 mm, nilai flow berkisar antara 2-4 mm pada variasi 75% sub variasi yang memenuhi spesifikasi adalah variasi 25% limbah beton 75% limbah aspal dan 75% limbah aspal 25% limbah beton dengan nilai Flow 3,44 mm dan 3,81 mm.

G. Marshall Quotient (MQ)

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *marshall quotient* adalah 250 kg/mm dan nilai maksimum tidak dibatasi, hal tersebut berarti pada variasi 50 memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).



Gambar 4. 21 Grafik variasi (MQ)

Pada variasi 75% limbah beton dan limbah aspal beton semua sub variasi memenuhi parameter marshall, semua variasi menunjukkan bahwa nilai MQ berada diatas nilai minimum spesifikasi yaitu 250 kg/mm. Variasi dengan nilai MQ paling tinggi terdapat pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan nilai MQ 534,2 kg/mm dan nilai paling rendah pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton yaitu 348,7 kg/mm.

Setelah nilai dari indikator parameter *marshall* diperoleh selanjutnya adalah merangkumkan hasilnya kedalam sebuah tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.23 Nilai dari parameter *marshall* yang telah dilakukan pengujian pada semua variasi aspal yang menggunakan Limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada variasi 75 % memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yang berarti pada variasi 25%-75% limbah aspal beton dan limbah beton dan 75%-25% limbah aspal beton dan limbah beton. Sehingga tersebut limbah aspal beton dan limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai campuran agregat kasar pada lapis perkerasan AC-BC.

Tabel 4. 26 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan substitusi 95%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (6%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2.327	M	2.282	M	2.306	M	1.928	M	2.324	M
2	VMA (%)	Min 14	14.8	M	16.5	M	15.6	M	29.4	TM	14.9	M

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (6%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	2.9	TM	4.8	M	3.7	M	19.5	TM	3.0	M
4	VFA (%)	Min 65	80.6	TM	71.3	M	76.0	M	40.3	M	80.1	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	2072	M	2250	M	2357	M	1725	M	1478	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	5.7	TM	3.5	M	3.7	M	45.3	TM	4.2	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	359	M	639	M	634	M	325	M	347	M

di mana:

M = Memenuhi

TM = Tidak Memenuhi

Dari hasil pengujian *marshall* didapat nilai parameter *marshall* diantaranya nilai *density*, VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ, kemudian nilai tersebut dimasukkan kedalam tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.27

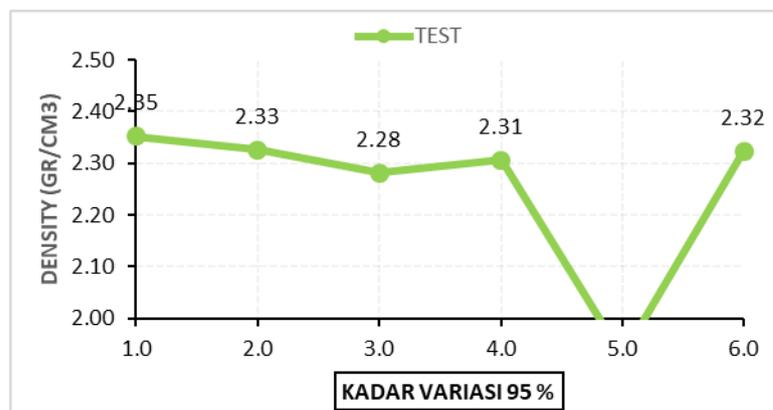
Tabel 4. 27 Grafik variasi parameter marshall

Kriteria	Spesifikasi	0%	1%	2.0%	3%	4.0%	5%
Density	-	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
VMA	min14	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
VIM	3.0-5.0	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
VFA	min 65	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
STABILIT	min 1000	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
FLOW	2.0-4.0	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
MQ	Min250	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

Pada tabel 4.27 diperlihatkan hasil dari variasi 95% dengan sub variasi 50% limbah beton-50% limbah aspal ,75% limbah beton-25 limbah aspal, 25% limbah beton-75% limbah aspal,100% limbah beton-,0% limbah aspal, 0% limbah beton dan 100% limbah aspal, variasi yang memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan adalah pada variasi 75% limbah aspal beton-25% limbah aspal beton dan variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton. Penjelasan secara rinci untuk parameter *marshall* yaitu sebagai berikut:

H. Density

Nilai minimum dan maksimum untuk *density* tidak dibatasi, dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan nilai yang signifikan terhadap besarnya variasi limbah aspal beton dan limbah beton yang digunakan, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).

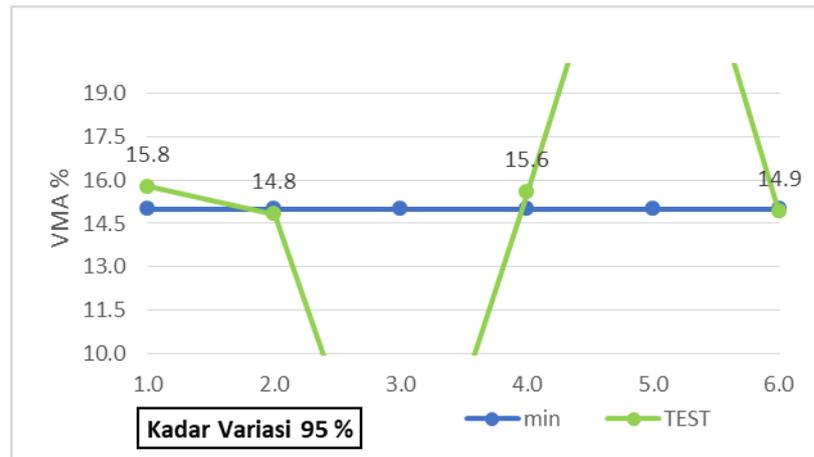


Gambar 4. 22 Grafik variasi (Density)

Nilai density menunjukkan bahwa kerapatan semakin bagus pada variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal dengan nilai 2,320 gram lalu pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal nilai density menurun dengan nilai 1,928 gram pada variasi 25% limbah aspal beton dan 75% limbah beton nilai density adalah 2,330 gram.

I. Void In Mineral Aggregate (VMA)

Nilai minimum parameter *marshall* untuk *Void In Mineral Aggregate* (VMA) adalah 14% dan nilai maksimum tidak dibatasi, nilai pada variasi 95%. Nilai semua variasi mencapai nilai minimum yang disyaratkan spesifikasi yang berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Wiyogo, Amal and Alamsyah (2021).

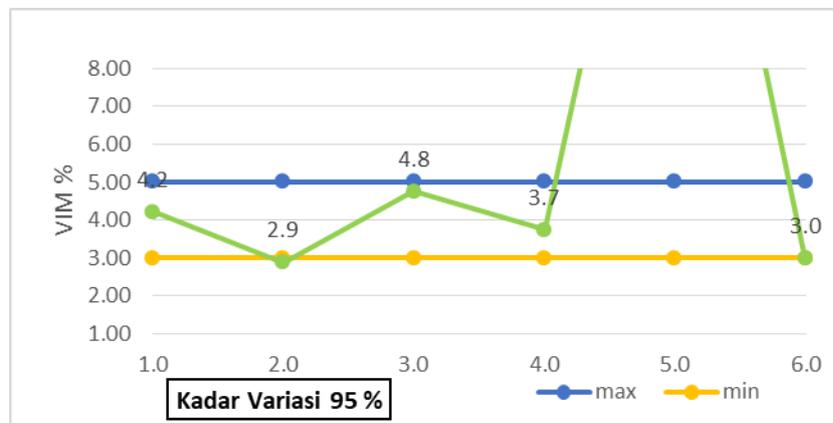


Gambar 4. 23 Grafik variasi (VMA)

Nilai VMA pada variasi 95% limbah aspal beton dan limbah beton terdapat 4 sub variasi yang memenuhi spesifikasi yaitu pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton nilai VMA 14,8 % dan terjadi peningkatan nilai VMA pada variasi 0% limbah aspal dan 100% limbah beton dengan nilai VMA 29,3 %.

J. *Void In The Mix* (VIM)

Nilai minimum pada *Void In The Mix* (VIM) adalah 3% dan nilai maksimum adalah 5%, hal tersebut berarti pada 50% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, variasi 95% tidak semua memenuhi spesifikasi karena nilai yang diperoleh melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan, hal ini sesuai dengan penelitian Situngkir and Amin (2020).

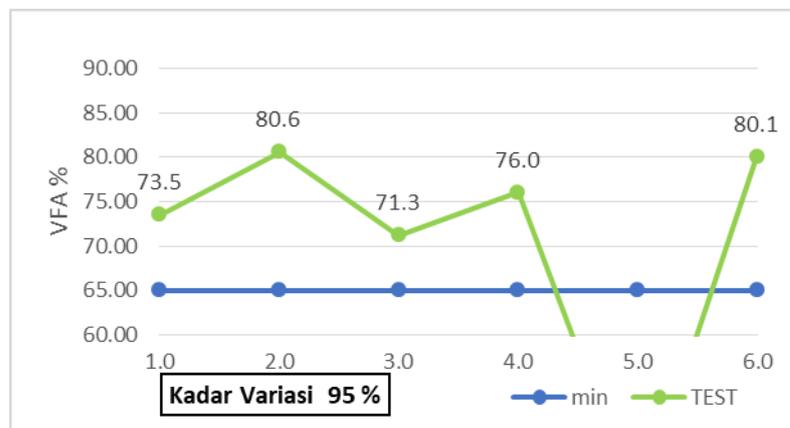


Gambar 4. 24 Grafik variasi (VIM)

Nilai VIM pada pengujian variasi 95% substitusi limbah aspal beton dan limbah beton pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal melewati nilai maksimum parameter VIM dengan nilai 19,5 % yang artinya semakin tinggi nilai vim makan semakin cepat terjadi kerusakan pada perkerasan dikarenakan rongga pada aspal yang tinggi dan mudah keropos, kemudian pada variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton nilai VIM menurun dan tidak memenuhi spesifikasi dengan nilai VIM 2,9 %.

K. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

Nilai minimum parameter *marshall* untuk VFA adalah 65% dan nilai maksimum tidak dibatasi. Pada semua variasi yang telah dilakukan pengujian menunjukkan nilai VFA memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian (Sinaga,2022.).

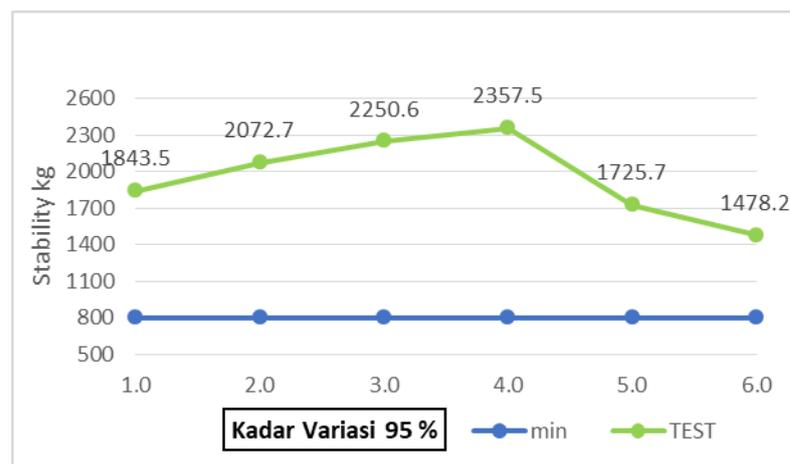


Gambar 4. 25 Grafik variasi (VFA)

Nilai VFA Pada variasi 95 % limbah aspal beton dan limbah beton, nilai VFA tidak memenuhi pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal yaitu dengan nilai VFA 40,3%, Kemudian nilai VFA meningkat pada variasi 100% limbah aspal dan 0% limbah beton yaitu 80,1%, sedangkan variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton nilai VFA memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu 71,3%.

L. Stabilitas

Nilai minimum parameter *marshall* untuk stabilitas adalah sebesar 800 kg dan nilai maksimum tidak dibatasi. Dari hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas dengan variasi 95 % seperti diperlihatkan pada Gambar 4.26 menunjukkan nilai stabilitas mencapai nilai minimum yang telah ditetapkan, hal ini berarti semua variasi memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).

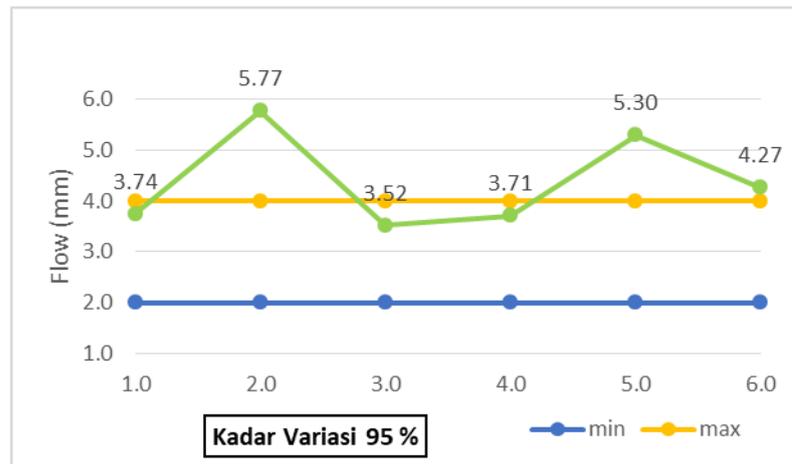


Gambar 4. 26 Grafik variasi (Stabilitas)

Pada variasi 95% limbah aspal beton dan limbah beton nilai stabilitas aspal meningkat pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal yaitu 2357,5 Kg semua variasi limbah beton dan limbah aspal beton memenuhi syarat spesifikasi bina marga yaitu dengan minimum 1000 Kg dan nilai stabilitas aspal paling rendah terdapat pada variasi 100% limbah aspal beton dan 0% limbah beton yaitu 1478,2 Kg.

M. Flow

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *flow* adalah 2 mm dan nilai maksimum adalah 4 mm, hal tersebut berarti semua kadar aspal pada pengujian tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Sinaga,(2022.)

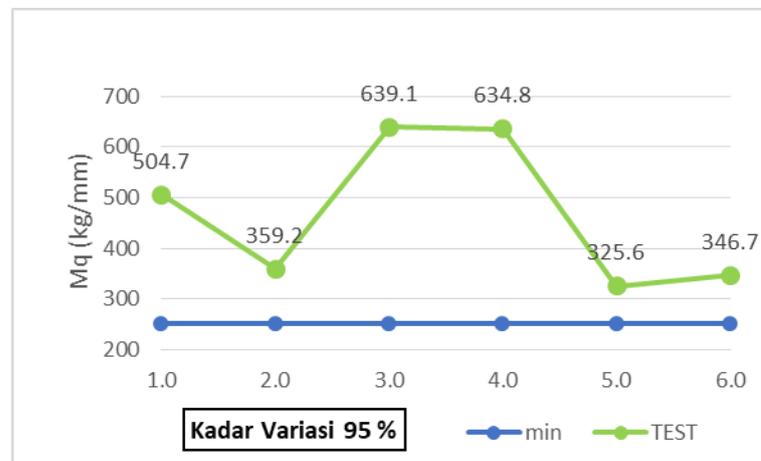


Gambar 4. 27 Grafik variasi (Flow)

Pada variasi 95 % limbah aspal beton dan limbah beton nilai flow pada sub variasi 50% limbah aspal beton dan limbah beton tidak memenuhi spesifikasi yaitu 5,77 mm, nilai flow berkisar antara 2-4 mm pada variasi 75% sub variasi yang memenuhi spesifikasi adalah variasi 25% limbah beton 75% limbah aspal dan 75% limbah aspal 25% limbah beton dengan nilai Flow 3,52 mm dan 3,71 mm.

N. Marshall Quotient (MQ)

Nilai minimum parameter *marshall* yang disyaratkan untuk *marshall quotient* adalah 250 kg/mm dan nilai maksimum tidak dibatasi, hal tersebut berarti pada variasi 95% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, hal ini sesuai dengan penelitian Devani and Handayasari (2020).



Gambar 4. 28 Grafik variasi (MQ)

Pada variasi 95% limbah beton dan limbah aspal beton semua sub variasi memenuhi parameter marshall, semua variasi menunjukkan bahwa nilai MQ berada diatas nilai minimum spesifikasi yaitu 250 kg/mm. Variasi dengan nilai MQ paling tinggi terdapat pada variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan nilai MQ 639,1 kg/mm dan nilai paling rendah pada variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton yaitu 325,6 kg/mm.

Setelah nilai dari indikator parameter *marshall* diperoleh selanjutnya adalah merangkumkan hasilnya kedalam sebuah tabel grafik seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.19. Nilai dari parameter *marshall* yang telah dilakukan pengujian pada semua variasi aspal yang menggunakan Limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada variasi 75 % memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yang berarti pada variasi 25%-75% limbah aspal beton dan limbah beton dan 75%-25% limbah aspal beton dan limbah beton. Sehingga tersebut limbah aspal beton dan limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai campuran agregat kasar pada lapis perkerasan AC-BC.

4.2 Pembahasan

Pembahasan secara keseluruhan untuk hasil dari parameter *marshall* yang telah didapatkan ini bertujuan untuk membahas secara rinci antara variasi. Hasil dari keseluruhan parameter *marshall* tersebut diperlihatkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 28 Tabel hasil pengujian variasi 50%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2.314	M	2.318	M	2.238	M	2.270	M	2.359	M
2	VMA (%)	Min 14	15.3	M	15.1	M	18.0	M	16.9	M	13.6	M
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	3.4	M	3.2	M	6.6	M	5.2	TM	1.5	TM
4	VFA (%)	Min 65	77,7	M	78,7	M	63.7	M	69.8	M	89.3	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	1719	M	1708	M	2099	M	1752	M	1541	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	4.3	TM	4.4	TM	5.6	TM	4.8	TM	5.3	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	400	M	382	M	369	M	359	M	288	M

Tabel 4. 29 Tabel hasil pengujian variasi 75%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2.216	M	2281	M	2.296	M	2.369	M	2.281	M
2	VMA (%)	Min 14	18.8	M	16.5	M	15.9	M	13.3	TM	16.5	M
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	7.5	M	4,8	M	4.1	M	1.1	TM	4.8	M
4	VFA (%)	Min 65	60.4	TM	71.0	M	74.1	M	91.6	M	70.9	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	1523	M	1836	M	2058	M	1880	M	2189	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	4.3	TM	3.4	M	3.8	M	4.4	TM	4.6	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	348	M	534	M	539	M	419	M	473	M

Tabel 4. 30 Tabel hasil pengujian variasi 95%

No.	Parameter <i>Marshall</i>	Spesifikasi Bina Marga 2018	Kadar aspal (%)									
			50%-50%		75%-25%		25%-75%		100 %-0%		0%-100%	
1	<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2.327	M	2.282	M	2.306	M	1.928	M	2.324	M
2	VMA (%)	Min 14	14.8	M	16.5	M	15.6	M	29.4	TM	14.9	M
3	VIM (%)	3,0 - 5,0	2.9	TM	4.8	M	3.7	M	19.5	TM	3.0	M
4	VFA (%)	Min 65	80.6	TM	71.3	M	76.0	M	40.3	M	80.1	M
5	<i>Stability</i> (Kg)	Min 1000	2072	M	2250	M	2357	M	1725	M	1478	M
6	<i>Flow</i> (Mm)	2,0 - 4,0	5.7	TM	3.5	M	3.7	M	45.3	TM	4.2	TM
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	Min 250	359	M	639	M	634	M	325	M		M

4.2.1 Kadar aspal optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* untuk benda uji KAO, diperoleh spesifikasi yang optimum pada kadar aspal 6%. Spesifikasi yang optimum adalah ketika seluruh parameter *marshall* memenuhi kriteria yang telah ditetapkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji KAO disebut dengan variasi 0% seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.20.

4.2.2 Variasi 50%

Berdasarkan hasil dari pengujian *marshall* pada variasi 50% seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.20, penggunaan limbah aspal beton dan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar pada lapisan AC-BC diperoleh hasil pengujian memenuhi dan tidak memenuhi pada beberapa variasi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

A. Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton

Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 50%-50% substitusi nilai *stability* lebih rendah karena nilai yang diperoleh lebih tinggi pada variasi 0% dengan selisih sebesar 0,35 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 50%-50% dari substitusi nilai yang diperoleh mendekati batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 0,30 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 83,4 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah daripada variasi 50% dengan selisih sebesar 164 gr/cm³ yang berarti pada variasi 50% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 6% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 11 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 50% dengan selisih sebesar 46% yang berarti pada variasi 50% lebih baik.

B. Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton

Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 29 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 75%-25% nilai yang diperoleh melewati batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 1,18 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 75%-25% lebih rendah dengan selisih sebesar 146 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75%-25% dengan selisih

sebesar 92 gr/cm^3 yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 4% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 7,9% yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75% -25% dengan selisih sebesar 0,35% yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik.

C. Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton

Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 25%-75% dengan selisih sebesar 145 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 25%-75% nilai yang diperoleh melewati batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 2,34 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 25%-75% lebih rendah dengan selisih sebesar 189 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 25%-75% dengan selisih sebesar 13 gr/cm^3 yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 25%-75% namun dengan selisih yang sangat kecil yaitu 0,6 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi sama halnya dengan variasi 25%-75% dengan selisih sebesar 3% yang berarti pada variasi 25%-75% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 25% -75% dengan selisih sebesar 14 % yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik karna melewati nilai minimum spesifikasi.

D. Variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton

Variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 100%-0% dengan selisih sebesar 191 kg. Nilai *flow* pada variasi 100% - 0% lebih baik karena pada variasi 0% nilai yang diperoleh lebih rendah dari variasi 100% - 0% namun tidak melebihi batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 0,94 mm. Nilai

MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 100%-0% lebih rendah dengan selisih sebesar 129 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 100% - 0% dengan selisih sebesar 34 gr/cm³ yang berarti pada variasi 100%-0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 100%-0% namun dengan selisih yang sangat kecil yaitu 1,7 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi pada variasi 100%-0% mendekati nilai spesifikasi dengan selisih sebesar 4,2% yang berarti pada variasi 100%-0% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 100% -0% dengan selisih sebesar 18 % yang berarti pada variasi 100% - 0% lebih baik.

E. Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton

Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 302 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 100%-0% nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 1,56 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 0%-100% cenderung rendah dengan selisih sebesar 216 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 0% - 100% dengan selisih sebesar 7 gr/cm³ yang berarti pada variasi 0%-100% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 5,9 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0%-100% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi pada variasi 0% mendekati nilai spesifikasi dengan selisih sebesar 1,5% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 0% -100% dengan selisih sebesar 15% yang berarti pada variasi 0% - 100% lebih baik.

4.2.3 Variasi 75 %

a. Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton

Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 50%-50% substitusi nilai *stability*

lebih rendah karena nilai yang diperoleh lebih tinggi pada variasi 0% dengan selisih sebesar 230 kg. Nilai flow pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 50%-50% dari substitusi nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 0,7 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 50%-50% dengan selisih sebesar 134 kg/mm. Nilai density pada variasi 0% lebih rendah daripada variasi 50% dengan selisih sebesar 51 gr/cm³ yang berarti pada variasi 50% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 3% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi jauh melebihi batas maksimum spesifikasi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 7% yang berarti pada variasi 50% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 50% dengan selisih sebesar 30% yang berarti pada variasi 50% lebih baik.

b. Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton

Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih rendah karena nilai yang diperoleh lebih tinggi pada variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 99 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih tinggi karena pada variasi 75%-25% nilai yang diperoleh lebih rendah namun masih memenuhi spesifikasi dengan selisih sebesar 0,22 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih rendah karena nilai yang diperoleh dari variasi 75%-25% lebih tinggi dengan selisih sebesar 6 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 55 gr/cm³ yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 3% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 7% yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75% -25% dengan selisih sebesar 29% yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik.

c. Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton

Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 25%-75% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 0% dengan selisih sebesar 205 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 25%-75% nilai yang diperoleh mendekati batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 0,46 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 25%-75% lebih rendah dengan selisih sebesar 18 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 25%-75% dengan selisih sebesar 45 gr/cm³ yang berarti pada variasi 25%-75% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 25%-75% dengan selisih 2,6 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi sedangkan variasi 25%-75% memenuhi dengan selisih sebesar 5% yang berarti pada variasi 25%-75% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 25% -75% dengan selisih sebesar 25% yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik karna memenuhi nilai minimum spesifikasi.

d. Variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton

Variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 100%-0% dengan selisih sebesar 28 kg. Nilai *flow* pada variasi 100% - 0% lebih tinggi karena pada variasi 0% nilai yang diperoleh lebih rendah dari variasi 100% - 0% dengan selisih sebesar 0,59 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 100%-0% lebih rendah dengan selisih sebesar 70 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 100% - 0% dengan selisih sebesar 133 gr/cm³ yang berarti pada variasi 100%-0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 100%-0% dengan selisih 5% yang berarti pada variasi 0% lebih baik karna pada variasi 100%-0% tidak memenuhi spesifikasi minimum. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi pada variasi 100%-0% tidak memenuhi spesifikasi dengan selisih sebesar 8,1% yang berarti pada kedua variasi tidak memenuhi spesifikasi.

Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 100% -0% dengan selisih sebesar 40% yang berarti pada variasi 100% - 0% lebih baik.

e. Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton

Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih rendah karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 347 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 100%-0% nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 0,9 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 0%-100% cenderung rendah dengan selisih sebesar 30 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0% - 100% dengan selisih sebesar 71 gr/cm³ yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 3,0 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0%-100% lebih tinggi daripada variasi 0% akan tetapi memenuhi spesifikasi dengan selisih sebesar 0,5% yang berarti pada variasi 0% -100% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0% -100% dengan selisih sebesar 3% yang berarti pada variasi 0% lebih baik.

4.2.4 Variasi 95%

a. Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton

Variasi 50% limbah beton dan 50% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 50%-50% substitusi nilai *stability* lebih tinggi karena nilai yang diperoleh lebih rendah pada variasi 0% dengan selisih sebesar 319 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 50%-50% dari substitusi nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 2,1 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 50%-50% dengan selisih sebesar 124 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah daripada variasi 50% dengan selisih sebesar 151 gr/cm³ yang berarti pada variasi 50% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 50% dengan selisih sebesar

6% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi jauh melebihi batas maksimum spesifikasi dari variasi 50% dengan selisih sebesar 12% yang berarti pada variasi 50% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 50% dengan selisih sebesar 49% yang berarti pada variasi 50% lebih baik.

b. Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton

Variasi 75% limbah beton dan 25% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih rendah karena nilai yang diperoleh lebih tinggi pada variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 514 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih rendah karena pada variasi 75%-25% nilai yang diperoleh lebih tinggi namun masih sama-sama memenuhi spesifikasi dengan selisih sebesar 0,23 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih rendah karena nilai yang diperoleh dari variasi 75%-25% lebih tinggi dengan selisih sebesar 111 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 55 gr/cm³ yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 3% yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi dari variasi 75%-25% dengan selisih sebesar 7% yang berarti pada variasi 75%-25% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 75% -25% dengan selisih sebesar 30% yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik.

c. Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton

Variasi 25% limbah beton dan 75% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 25%-75% nilai *stability* lebih baik karena nilai yang diperoleh lebih tinggi dari variasi 0% dengan selisih sebesar 50 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 25%-75% nilai yang diperoleh mendekati batas maksimum pada spesifikasi dengan selisih sebesar 0,36 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih rendah karena nilai yang diperoleh dari variasi 25%-75% lebih tinggi dengan selisih sebesar 77 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 25%-75% dengan selisih sebesar 109 gr/cm³ yang berarti pada variasi 25%-75% lebih baik. Nilai VMA

pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 25%-75% dengan selisih 3,04 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0% lebih tinggi melewati batas maksimum spesifikasi sedangkan variasi 25%-75% memenuhi dengan selisih sebesar 6% yang berarti pada variasi 25%-75% lebih baik. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 25% -75% dengan selisih sebesar 26% yang berarti pada variasi 75% -25% lebih baik karena memenuhi nilai minimum spesifikasi.

d. Variasi 100% limbah beton dan 0% limbah aspal beton

Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih tinggi karena nilai yang diperoleh lebih rendah nilai pada variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 183 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 100%-0% nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 1,4 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 0%-100% cenderung rendah dengan selisih sebesar 163 kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0% - 100% dengan selisih sebesar 308 gr/cm³ yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 1,0 % yang berarti pada variasi 0%-100% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0%-100% lebih tinggi daripada variasi 0% dan tidak memenuhi spesifikasi dengan selisih sebesar 10% yang berarti pada variasi 0% -100% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VFA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0% -100% dengan selisih sebesar 11% yang berarti pada variasi 0% lebih baik..

e. Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton

Variasi 0% limbah beton dan 100% limbah aspal beton dengan variasi 0% dari pengujian *marshall* diperoleh hasil pada variasi 0% nilai *stability* lebih tinggi karena nilai yang diperoleh lebih rendah nilai pada variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 365 kg. Nilai *flow* pada variasi 0% lebih baik karena pada variasi 100%-0% nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum spesifikasi dengan selisih sebesar 0,5 mm. Nilai MQ pada variasi 0% lebih tinggi karena nilai yang diperoleh dari variasi 0%-100% cenderung rendah dengan selisih sebesar 157

kg/mm. Nilai *density* pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0% - 100% dengan selisih sebesar 28 gr/cm³ yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VMA pada variasi 0% lebih tinggi dari variasi 0%-100% dengan selisih sebesar 4,4 % yang berarti pada variasi 0% lebih baik. Nilai VIM pada variasi 0%-100% lebih rendah daripada variasi 0% dibawah nilai minimum spesifikasi dengan selisih sebesar 1,3% yang berarti pada variasi 0% memenuhi spesifikasi. Nilai VFA pada variasi 0% lebih rendah dari variasi 0% -100% dengan selisih sebesar 7% yang berarti pada variasi 100% -0% lebih baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah pada variasi 75% dan 95% limbah aspal beton dan limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian agregat kasar yang berarti pada variasi tersebut dapat digunakan pada perkerasan lapis AC-BC sedangkan pada variasi 50% tidak dapat digunakan pada campuran lapis AC-BC. Dari hasil penelitian pada variasi 50% diperoleh nilai VIM sebesar 5,25% menunjukkan bahwa pada variasi tersebut nilai VIM yang diperoleh melebihi nilai batas maksimum pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu sebesar 3.0% – 5.0%. Semakin tinggi nilai VIM menunjukkan bahwa rongga yang terdapat dalam campuran semakin besar. Apabila menggunakan variasi 50% pada campuran aspal beton AC-BC akan cepat menyebabkan timbulnya retak pada lapisan perkerasan.

5.2 Saran

Apabila menggunakan variasi 50% pada campuran aspal beton AC-BC akan menyebabkan campuran bersifat keropos, hal tersebut disebabkan karena nilai VIM melebihi nilai batas maksimum yang disyaratkan. Semakin tinggi nilai VIM menunjukkan bahwa rongga yang terdapat dalam campuran semakin besar, proses ini mengakibatkan udara dan air mudah masuk ke dalam lapis perkerasan sehingga mengakibatkan terjadinya proses oksidasi yang dapat menyebabkan aspal keropos. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VIM adalah gradasi, kadar aspal dan *density*. Pada variasi 50% penggunaan aspal beton AC-BC akan cepat menyebabkan timbulnya retak pada lapis perkerasan. Apabila ingin merencanakan perkerasan dengan substitusi sebagian agregat menggunakan bahan limbah aspal beton dan limbah beton dengan variasi 50%, disarankan untuk penggunaan jalan dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat dan tidak banyak dilalui kendaraan bermuatan berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, R., 2021. Pengaruh Komposisi Agregat Terhadap Karakteristik Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Batuan Lokal Sungai Gung Di Desa Danawarih Kecamatan Balapulang Kabupaten Tegal. *J. Tek. Sipil* 7.
- Halus, S. M. A. (2021). Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Pada Campuran.
- Sulianti, I. (2020). Studi Pemanfaatan Limbah Beton Mutu Tinggi pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(1), 7-14.
- Sukirman, S., 2016. Beton Aspal Campuran Panas.
- Sidi, M. P., Wedyantadji, B., & Erfan, M. (2020). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC). *Student Journal Gelagar*, 2(1), 36-45.
- divisi-6_spek-2010-rev-3, n.d.
- Harnaeni, S.R., 2016. Karakteristik Marshall Asphalt Concrete-Binder Course (Ac-Bc) Dengan Menggunakan Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar.
- Putri, A., & Risdianto, Y. (2019). Pemakaian Limbah Aspal Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran Aspal Porus. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2).jurnal 2.pdf, n.d.
- Marga, B., n.d. SPESIFIKASI UMUM 2018.
- Pemerintah, R.I., 2004. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan.
- Yousefi, A., Behnood, A., Nowruz, A., & Haghshenas, H. (2021). Performance evaluation of asphalt mixtures containing warm mix asphalt (WMA) additives and reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, 268, 121200.
- Prawiro, B., Tarigan, N.P.O., Djakfar, I.L., Bowoputro, H., n.d. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite.

- Yasra, S. (2014). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Pengganti Pada Campuran Asphalt Concrete "Binder Course (Ac-Bc) (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Prawiro, B., Tarigan, N.P.O., Djakfar, I.L., Bowoputro, H., n.d. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite.
- Siang, R., Makmur, A., 2020a. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter Marshall Campuran Beraspal Berpori. *J. Transp.* 20, 97–104. <https://doi.org/10.26593/jtrans.v20i2.4123.97-104>
- M. Purwoko Sidi, B. Wedyantadji and M. Erfan, "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc)," e-journal Gelagar, vol. 2, no. 1, pp. 36-45, 2020.
- Siang, R., Makmur, A., 2020b. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter Marshall Campuran Beraspal Berpori. *J. Transp.* 20, 97–104. <https://doi.org/10.26593/jtrans.v20i2.4123.97-104>
- Sinaga, F.A., n.d. Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan.
- Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., Miró, R., Martínez, A., & Botella, R. (2011). Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, 25(3), 1289-1297.
- Soelarso, Baehaki and N. Fatah Sidik, 2016 "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas," vol. 5, no. 2, pp. 22-29.
- SNI 03-4804-199 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat 8 , n.d.
- SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat., n.d.
- SNI-03-1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan. Agregat Halus Dan Kasar , n.d.
- SNI-1969-2008 Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan judul Cara uji berat jenis penyerapan air agregat kasar.pdf, n.d.

- Sukirman, S., 2016. Beton Aspal Campuran Panas.
- Sukirman, S., n.d. Beton Aspal Campuran Panas.
- Sukirman, S, 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova, Bandung
- Sukirman, S, 2003, Beton Aspal Campuran Panas. Granit, Jakarta
- Saepudin, U. (2019). Kajian Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Cement Treated Base (CTB) Untuk Lapis Pondasi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement).
- Muhammad, I. B., & Harnaeni, S. R. (2016). Analisa Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Menggunakan Limbah Beton Sebagai Coarse Aagregat (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Plati, C., & Cliatt, B. (2018). A sustainability perspective for unbound reclaimed asphalt pavement (RAP) as a pavement base material. *Sustainability*, 11(1), 78.
- U. Saepudin, 2016 "Kajian Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Cement Treated Base (Ctb) Untuk Lapis Pondasi Perkerasan Lentur," *Jurnal Media Teknologi*, vol. 03, no. 01, pp. 13-22,
- Susanto, Andriyas, 2016, Pengaruh Limbah Beton Dan Marmer Pada Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Gilsonite.
- Sukirman, S, 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung
- Subagyo, G. W., & Indramaha, I. (2019). Kinerja Marshall Campuran Beraspal Panas Lapis (Ac-Bc) Menggunakan Limbah Beton. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 2(2),80-86.

Tabel B.14 Parameter marshall (KAO)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS MALIKUSSALEH FAKULTAS TEKNIK LABORATORIUM TEKNIK SIPIL Jl. Batam No. 02 Kampus Bukit Indah Blang Pulo Kota Lhokseumawe																						
Judul : Studi Eksperimental Pemanfaatan limbah adpal beton dan limbah beton sebagai subsitusi agregat kasar pada lapisan Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)																	Nama : Jerniati Nasution Nim : 190110005					
DATA CAMPURAN DENGAN PENGUJIAN ALAT MARSHALL (KAO)																						
No	t (mm)	a (%)	b (%)	c (gr)	d (gr)	e (gr)	f = (d - e) (cm3)	g = (c : f) density (gr/cm3)	h (gr/cm3)	I (%)	j _{eff} (%)	j _{cur} (%)	k	l	m	n	o (Kg)	p	q	r	s = (q : r)	
													(VMA) (%)	(VIM) (%)	(VFA) (%)	(Units)			stability (kg)	flow (mm)	MQ (kg/mm)	
I	67.1	4	3.85	1170.4	1187.1	639.1	548.0	2.136	2.5	8.0	76.6	77.9	22.1	15.4	30.3	122	1661	0.95	1582	3.11	509	
II	68.4		3.85	1185.4	1198.5	649.5	549.0	2.159	2.5	8.1	77.4	78.8	21.2	14.4	31.9	149	2029	0.89	1802	4.37	412	
III	65.2		3.85	1175.8	1189.7	644.3	545.4	2.156	2.5	8.1	77.3	78.7	21.3	14.6	31.7	144	1961	0.96	1879	3.55	529	
IV	0.0																					
								2.150					21.5	14.8	31.3					1754.316	3.677	483.4
I	66.3	4.5	4.31	1182.5	1194	657.4	536.6	2.204	2.5	9.3	78.7	80.0	20.0	12.1	39.6	110	1498	0.94	1404	2.68	524	
II	68.1		4.31	1177.9	1189.4	656.2	533.2	2.209	2.5	9.3	78.9	80.2	19.8	11.8	40.1	152	2070	0.90	1852	3.80	487	
III	67.3		4.31	1182.2	1193.9	671.7	522.2	2.264	2.5	9.5	80.8	82.2	17.8	9.7	45.7	157	2138	0.92	1956	3.41	574	
								2.226					19.2	11.2	41.8					1737.620	3.297	528.4
I	65.9	5	4.76	1173.3	1189.6	661.9	527.7	2.223	2.5	10.4	79.0	80.4	19.6	10.7	45.7	139	1893	0.95	1789	3.78	473	
II	67.8		4.76	1187.9	1188.3	672.3	516.0	2.302	2.5	10.7	81.8	83.2	16.8	7.5	55.3	148	2015	0.90	1819	3.09	589	
III	65.3		4.76	1180.2	1193.7	664.1	529.6	2.228	2.5	10.4	79.2	80.6	19.4	10.5	46.2	150	2043	0.96	1953	3.18	614	
								2.251					18.6	9.5	49.1					1853.523	3.350	558.7
I	66.9	5.5	5.21	1186.6	1194.7	661.1	533.6	2.224	2.5	11.3	78.6	80.0	20.0	10.0	49.8	131	1784	0.93	1650	4.23	390	
II	65.3		5.21	1175.8	1186.5	662.1	524.4	2.242	2.5	11.4	79.3	80.7	19.3	9.3	51.9	173	2356	0.96	2253	3.81	591	
III	66.4		5.21	1175.1	1183.5	659.6	523.9	2.243	2.5	11.4	79.3	80.7	19.3	9.3	52.0	143	1947	0.94	1822	3.75	486	
								2.236					19.5	9.5	51.3					1908.143	3.930	489.042
I	66.4	6	5.66	1180.3	1190.4	686.7	503.7	2.343	2.5	13.0	82.5	83.9	16.1	4.6	71.6	136	1852	0.94	1733	3.18	545	
II	67.6		5.66	1179.2	1181.1	685.3	495.8	2.378	2.5	13.2	83.7	85.2	14.8	3.1	78.9	148	2015	0.90	1819	4.58	397	
III	65.2		5.66	1172.5	1183.5	681.3	502.2	2.335	2.5	12.9	82.2	83.6	16.4	4.9	70.0	152	2070	0.96	1979	3.46	572	
								2.352					15.8	4.2	73.5					1843.5	3.740	504.7

Keterangan

t	= tebal benda uji (b.u.) mm	i	= volume aspal thdp b.u = $(b \times g) / BJ. \text{Aspal, \%}$	- Temperatur pencampuran	$\pm 150^{\circ}\text{C}$
a	= kadar aspal terhadap agregat, %	j_{eff}	= vol. agr. thdp. b.u = $((100 - b) \times g) / BJ. \text{agr. ef, \%}$	- Temperatur pemadatan	$\pm 130^{\circ}\text{C}$
b	= kadar aspal terhadap campuran, %	j_{cur}	= vol. agr. thdp. b.u = $((100 - b) \times g) / BJ. \text{agr. curah, \%}$	- Temperatur <i>water bath</i>	$\pm 60^{\circ}\text{C}$
c	= berat kering b.u. (sebelum direndam),	k	= kadar rongga dalam agregat (VMA) = $(100 - j_{\text{cur}}), \%$	- Berat jenis aspal	1,022
d	= berat kering b.u. keadaan SSD, gr	l	= rongga terhadap campuran (VITM) = $(100 \times (h - g) / h), \%$	- Berat jenis agregat curah	2,577
e	= berat b.u. didalam air, gr	m	= rongga yang terisi aspal (VFVA) = $(100 \times (VMA - VITM) / VMA), \%$	- Berat jenis agregat semu	2,709
f	= volume b.u. = $d - e$, gr	n	= nilai pembacaan arloji stabilitas	- Berat jenis agregat efektif	2,643
g	= berat volume b.u. = $c:f$, gr/cm^3	o	= $n \times$ kalibrasi proving ring	- Kalibrasi <i>proving ring</i>	13,616
h	= BJ. maksimum teoritis, gr/cm^3	p	= tebal koreksi benda uji		
		q	= stabilitas = $o \times p$, kg		
		r	= kelelehan plastis (flow), mm		
		s	= <i>marshall quotient</i> , kg/mm		

Tabel B .15 Parameter marshall (Variasi 50%)

VARIASI I (50 %)	No	t (mm)	a	b (%)	c (gr)	d (gr)	e (gr)	f = (d - e) (cm3)	g = (c : f) density (gr/cm3)	h (gr/cm3)	I (%)	j _{eff} (%)	j _{cur} (%)	k	l	m	n	o (Kg)	P	q	r	s = (q : r)
														(VMA)	(VIM)	(VFA)	(Units)			stability	flow	MQ
														(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
Llimbah beton = 50 %	I	63.2	1	5.66	1171.2	1181.2	672.3	508.9	2.301	2.4	12.7	83.3	84.3	15.7	3.9	75.1	125	1702	1.01	1714	4.12	416
&	II	63.5		5.66	1173.9	1182.8	676.2	506.6	2.317	2.4	12.8	83.9	84.8	15.2	3.3	78.5	123	1675	1.00	1675	4.38	382
Llimbah aspal = 50%	III	63.2		5.66	1175.3	1185.2	679.1	506.1	2.322	2.4	12.9	84.1	85.0	15.0	3.1	79.6	129	1757	1.01	1769	4.40	402
									2.314				15.3	3.4	77.7				1719.273	4.300	400.148	
Llimbah beton = 75 %	I	63.9	2	5.66	1181.4	1191.9	680.3	511.6	2.309	2.4	12.8	83.6	84.6	15.4	3.6	76.7	129	1757	0.99	1739	4.47	389
&	II	63.7		5.66	1181.7	1191.6	681.8	509.8	2.318	2.4	12.8	83.9	84.9	15.1	3.2	78.6	122	1661	1.00	1653	4.35	380
Llimbah aspal = 25%	III	63.4		5.66	1181.1	1187.7	680.1	507.6	2.327	2.4	12.9	84.3	85.2	14.8	2.9	80.7	127	1729	1.00	1733	4.59	378
									2.318				15.1	3.2	78.7				1708.271	4.470	382.186	
Llimbah beton = 25 %	I	64.5	3	5.66	1183.1	1196.1	669.8	526.3	2.248	2.4	12.5	81.4	82.3	17.7	6.2	65.2	160	2179	0.98	2124	5.90	360
&	II	64.8		5.66	1182.9	1193.2	662.1	531.1	2.227	2.4	12.3	80.6	81.6	18.4	7.0	61.9	156	2124	0.97	2054	5.42	379
Llimbah aspal = 75 %	III	64.7		5.66	1186.5	1192.7	662.9	529.8	2.240	2.4	12.4	81.1	82.0	18.0	6.5	63.8	161	2192	0.97	2120	5.76	368
									2.238				18.0	6.6	63.7				2099.465	5.693	369.030	
Llimbah beton = 0 %	I	66.1	4	5.66	1181.1	1198.1	661.5	536.6	2.201	2.4	12.2	79.7	80.6	19.4	8.1	58.2	139	1893	0.94	1775	4.98	357
&	II	66.2		5.66	1188.4	1194.7	677.6	517.1	2.298	2.4	12.7	83.2	84.2	15.8	4.1	74.4	141	1920	0.94	1795	4.82	372
Llimbah aspal = 100 %	III	66.4		5.66	1184.9	1195.2	682.2	513.0	2.310	2.4	12.8	83.6	84.6	15.4	3.6	76.8	133	1811	0.93	1686	4.81	351
									2.270				16.9	5.2	69.8				1752.236	4.870	359.832	
Llimbah beton = 100 %	I	64.2	5	5.66	1183.4	1189.9	681.7	508.2	2.329	2.4	12.9	84.3	85.3	14.7	2.8	81.1	105	1430	0.98	1404	5.20	270
&	II	64.3		5.66	1181.8	1182.5	685.5	497.0	2.378	2.4	13.2	86.1	87.1	12.9	0.7	94.3	126	1716	0.98	1681	5.39	312
Llimbah aspal = 0 %	III	64.9		5.66	1182.5	1183.1	684.5	498.6	2.372	2.4	13.1	85.9	86.8	13.2	1.0	92.5	117	1593	0.97	1537	5.45	282
									2.359				13.6	1.5	89.3				1540.968	5.347	288.020	

Keterangan

t = tebal benda uji (b.u.) mm

a = kadar aspal terhadap agregat, %

b = kadar aspal terhadap campuran, %

c = berat kering b.u. (sebelum direndam),

d = berat kering b.u. keadaan SSD, gr

e = berat b.u. didalam air, gr

f = volume b.u. = d - e, gr

i = volume aspal thdp b.u = (b x g) / BJ. Aspal, %

j_{eff} = vol. agr. thdp. b.u = ((100 - b) x g) / BJ. agr. ef, %j_{cur} = vol. agr. thdp. b.u = ((100 - b) x g) / BJ. agr. curah, %k = kadar rongga dalam agregat (VMA) = (100 - j_{cur}), %

l = rongga terhadap campuran (VITM) = (100 x (h - g) / h), %

m = rongga yang terisi aspal (VFWA) = (100 x (VMA - VITM) / VMA), %

n = nilai pembacaan arloji stabilitas

o = n x kalibrasi proving ring

- Temperatur pencampuran

- Temperatur pemadatan

- Temperatur *water bath*

- Berat jenis aspal

- Berat jenis agregat curah

- Berat jenis agregat semu

- Berat jenis agregat efektif

- Kalibrasi *proving ring*

g	= berat volume b.u. = c:f, gr/cm ³	p	= tebal koreksi benda uji
h	= BJ. maksimum teoritis, gr/cm ³	q	= stabilitas = o x p, kg
		r	= kelelahan plastis (flow), mm
		s	= marshall quotient, kg/mm

Tabel B.16 Parameter marshall (Variasi 75%)

VARIASI 2 (75%)	No	t (mm)	a	b (%)	c (gr)	d (gr)	e (gr)	f = (d - e) (cm ³)	g = (c : f) density (gr/cm ³)	h (gr/cm ³)	I (%)	j _{eff} (%)	j _{cur} (%)	k	l	m	n	o (Kg)	p	q	r	s = (q : r)
														(VMA)	(VIM)	(VFA)	(Units)			stability	flow	MQ
														(%)	(%)	(%)				(kg)	(mm)	(kg/mm)
Limbah beton = 50%	I	63.3	1	5.66	1182.5	1190.9	659.7	531.2	2.226	2.4	12.3	80.6	81.5	18.5	7.1	61.8	100	1362	1.01	1369	4.30	318
&	II	63.5		5.66	1182.8	1191.3	653.2	538.1	2.198	2.4	12.2	79.6	80.5	19.5	8.2	57.8	115	1566	1.00	1566	4.39	357
Limbah aspal = 50%	III	63.1		5.66	1183.3	1193.7	661.9	531.8	2.225	2.4	12.3	80.6	81.5	18.5	7.1	61.6	119	1620	1.01	1637	4.41	371
									2.216				18.8	7.5	60.4				1523.697	4.367	348.695	
Limbah beton = 75%	I	62.4	2	5.66	1184.4	1194.7	675.1	519.6	2.279	2.4	12.6	82.5	83.5	16.5	4.8	70.7	138	1879	1.03	1930	3.31	583
&	II	62.5		5.66	1188.7	1196.9	674.8	522.1	2.277	2.4	12.6	82.4	83.4	16.6	5.0	70.2	130	1770	1.03	1814	3.54	513
Limbah aspal = 25%	III	62.7		5.66	1189.1	1197.3	677.1	520.2	2.286	2.4	12.7	82.8	83.7	16.3	4.6	71.9	127	1729	1.02	1764	3.48	507
									2.281				16.5	4.8	71.0				1836.098	3.443	534.163	
Limbah beton = 25 %	I	62.5	3	5.66	1176.5	1183.8	673.9	509.9	2.307	2.4	12.8	83.5	84.5	15.5	3.7	76.3	160	2179	0.98	2124	3.79	560
&	II	62.5		5.66	1185.4	1185.4	672.1	513.3	2.309	2.4	12.8	83.6	84.6	15.4	3.6	76.7	157	2138	0.98	2084	3.84	543
Limbah aspal = 75 %	III	62.8		5.66	1181.2	1189.1	669.2	519.9	2.272	2.4	12.6	82.3	83.2	16.8	5.2	69.3	142	1934	1.02	1966	3.81	516
									2.296				15.9	4.1	74.1				2058.387	3.813	539.815	
Limbah beton = 0%	I	61.3	4	5.66	1185.7	1188.3	690.1	498.2	2.380	2.4	13.2	86.2	87.1	12.9	0.6	95.0	125	1702	1.06	1806	4.30	420
&	II	61.2		5.66	1183.4	1189.2	689.7	499.5	2.369	2.4	13.1	85.8	86.8	13.2	1.1	91.7	135	1838	0.98	1805	4.65	388
Limbah aspal = 100 %	III	63.5		5.66	1182.9	1190.9	688.9	502.0	2.356	2.4	13.1	85.3	86.3	13.7	1.6	88.1	149	2029	1.00	2029	4.51	450
									2.369				13.3	1.1	91.6				1880.031	4.487	419.360	
Limbah beton = 100 %	I	63.7	5	5.66	1179.1	1190.9	673.1	517.8	2.277	2.4	12.6	82.5	83.4	16.6	4.9	70.3	172	2342	1.00	2330	4.51	517
&	II	63.6		5.66	1181.1	1194.2	675.5	518.7	2.277	2.4	12.6	82.4	83.4	16.6	4.9	70.3	168	2288	1.00	2281	4.75	480
Limbah aspal = 0 %	III	64.9		5.66	1187.2	1193.3	674.3	519.0	2.287	2.4	12.7	82.8	83.8	16.2	4.5	72.3	149	2029	0.97	1958	4.61	425
									2.281				16.5	4.8	70.9				2189.709	4.623	473.867	

Keterangan

t = tebal benda uji (b.u.) mm

i = volume aspal thdp b.u = (b x g) / BJ. Aspal, %

j_{eff} = vol. agr. thdp. b.u = ((100 - b) x g) / BJ. agr. ef, %

- Temperatur pencampuran

± 150°C

- Temperatur pemadatan

± 130°C

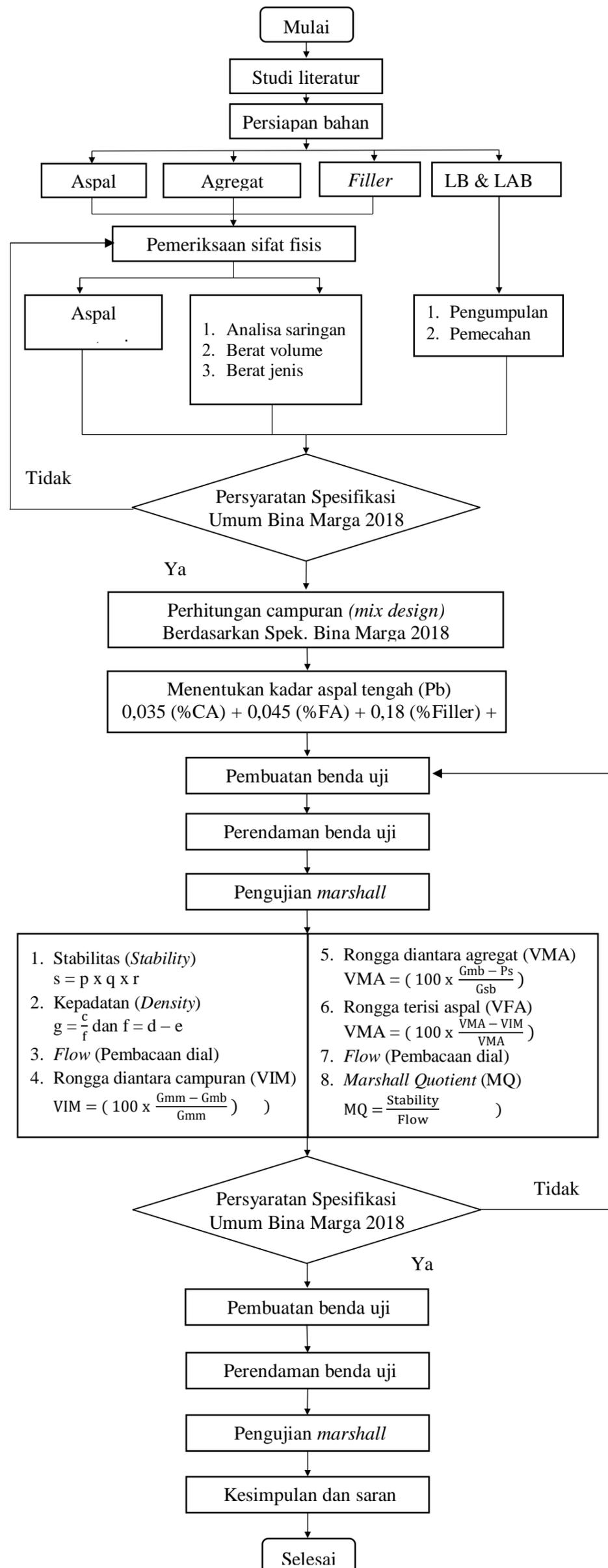
- a = kadar aspal terhadap agregat, %
- b = kadar aspal terhadap campuran, %
- c = berat kering b.u. (sebelum direndam),
- d = berat kering b.u. keadaan SSD, gr
- e = berat b.u. didalam air, gr
- f = volume b.u. = d - e, gr
- g = berat volume b.u. = c:f, gr/cm³
- h = BJ. maksimum teoritis, gr/cm³
- j_{cur} = vol. agr. thdp. b.u = ((100 - b) x g) / BJ. agr. curah, %
- k = kadar rongga dalam agregat (VMA) = (100 - j_{cur}), %
- l = rongga terhadap campuran (VITM) = (100 x (h - g) / h), %
- m = rongga yang terisi aspal (VFVA) = (100 x (VMA - VITM) / VMA), %
- n = nilai pembacaan arloji stabilitas
- o = n x kalibrasi proving ring
- p = tebal koreksi benda uji
- q = stabilitas = o x p, kg
- r = kelelehan plastis (flow), mm
- s = marshall quotient, kg/mm
- Temperatur *water bath* ± 60°C
- Berat jenis aspal 1,022
- Berat jenis agregat curah 2,577
- Berat jenis agregat semu 2,709
- Berat jenis agregat efektif 2,643
- Kalibrasi *proving ring* 13,616

Tabel B.17 Parameter marshall (Variasi 95%)

VARIASI 3 (95 %)	No	t (mm)	a	b (%)	c (gr)	d (gr)	e (gr)	f = (d - e) (cm3)	g = (c : f) density (gr/cm3)	h (gr/cm3)	I (%)	j_{eff} (%)	j_{cur} (%)	k	l	m	n	o (Kg)	p	q	r	s = (q : r)							
														(VMA) (%)	(VIM) (%)	(VFA) (%)	(Units)			stability (kg)	flow (mm)	MQ (kg/mm)							
Limbah beton = 50 %	I	64.1	1	5.66	1178.2	1188.5	681.6	506.9	2.324	2.4	12.9	84.2	85.1	14.9	3.0	80.1	160	2179	0.99	2146	5.80	370							
&	II	64.4		5.66	1181.8	1191.8	685.2	506.6	2.333	2.4	12.9	84.5	85.4	14.6	2.6	82.1	151	2056	0.98	2009	5.80	346							
Limbah aspal = 50%	III	64.9		5.66	1183.3	1193.3	683.8	509.5	2.322	2.4	12.9	84.1	85.0	15.0	3.0	79.6	157	2138	0.97	2063	5.71	361							
														2.327													2072.653	5.770	359.223
Limbah beton = 75 %	I	64.7	2	5.66	1177.1	1187.9	675.1	512.8	2.295	2.4	12.7	83.1	84.1	15.9	4.2	73.8	182	2478	0.97	2404	3.56	675							
&	II	64.8		5.66	1179.7	1186.9	672.7	514.2	2.294	2.4	12.7	83.1	84.0	16.0	4.2	73.6	156	2124	0.97	2054	3.49	589							
Limbah aspal = 25%	III	64.1		5.66	1181.1	1197.3	673.5	523.8	2.255	2.4	12.5	81.6	82.6	17.4	5.9	66.3	171	2329	0.99	2294	3.51	653							
														2.282													2250.559	3.520	639.096
Limbah beton = 25 %	I	64.1	3	5.66	1176	1188.3	674.1	514.2	2.287	2.4	12.7	82.8	83.7	16.3	4.5	72.2	185	2519	0.98	2469	3.71	665							
&	II	64.6		5.66	1178.9	1185.4	676.1	509.3	2.315	2.4	12.8	83.8	84.8	15.2	3.4	77.9	169	2301	0.97	2237	3.67	609							
Limbah aspal = 75 %	III	64.2		5.66	1181.7	1189.7	679.3	510.4	2.315	2.4	12.8	83.8	84.8	15.2	3.3	78.0	177	2410	0.98	2367	3.76	629							
														2.306													2357.475	3.713	634.801
Limbah beton = 0 %	I	65.9	4	5.66	1175.7	1187.3	671.2	671.2	1.752	2.4	9.7	63.4	64.1	35.9	26.9	25.1	142	1934	0.93	1802	5.40	334							
&	II	65.3		5.66	1177.4	1189.2	671.1	671.1	1.754	2.4	9.7	63.5	64.2	35.8	26.8	25.2	133	1811	0.95	1713	5.39	318							
Limbah aspal = 100 %	III	65.4		5.66	1180.9	1191.4	673.2	518.2	2.279	2.4	12.6	82.5	83.4	16.6	4.9	70.6	129	1757	0.95	1662	5.11	325							
														1.928													1725.710	5.300	325.593
Limbah beton = 100 %	I	64.7	5	5.66	1179.7	1185.9	681.3	504.6	2.338	2.4	12.9	84.7	85.6	14.4	2.4	83.3	100	1362	0.97	1321	3.95	334							
&	II	64.1		5.66	1183.1	1194.7	686.9	507.8	2.330	2.4	12.9	84.4	85.3	14.7	2.7	81.4	113	1539	0.99	1516	4.13	367							
Limbah aspal = 0 %	III	64.7		5.66	1180.2	1194.3	682.1	512.2	2.304	2.4	12.8	83.4	84.4	15.6	3.8	75.6	121	1648	0.97	1598	4.72	339							
														2.324													1478.239	4.267	346.661

Keterangan

t	= tebal benda uji (b.u.) mm	i	= volume aspal thdp b.u = $(b \times g) / BJ. \text{Aspal, \%}$	- Temperatur pencampuran	$\pm 150^{\circ}\text{C}$
a	= kadar aspal terhadap agregat, %	j_{eff}	= vol. agr. thdp. b.u = $((100 - b) \times g) / BJ. \text{agr. ef, \%}$	- Temperatur pemadatan	$\pm 130^{\circ}\text{C}$
b	= kadar aspal terhadap campuran, %	j_{cur}	= vol. agr. thdp. b.u = $((100 - b) \times g) / BJ. \text{agr. curah, \%}$	- Temperatur <i>water bath</i>	$\pm 60^{\circ}\text{C}$
c	= berat kering b.u. (sebelum direndam),	k	= kadar rongga dalam agregat (VMA) = $(100 - j_{\text{cur}}, \%)$	- Berat jenis aspal	1,022
d	= berat kering b.u. keadaan SSD, gr	l	= rongga terhadap campuran (VITM) = $(100 \times (h - g) / h), \%$	- Berat jenis agregat curah	2,577
e	= berat b.u. didalam air, gr	m	= rongga yang terisi aspal (VFVA) = $(100 \times (VMA - VITM) / VMA), \%$	- Berat jenis agregat semu	2,709
f	= volume b.u. = $d - e$, gr	n	= nilai pembacaan arloji stabilitas	- Berat jenis agregat efektif	2,643
g	= berat volume b.u. = $c:f$, gr/cm^3	o	= $n \times$ kalibrasi proving ring	- Kalibrasi <i>proving ring</i>	13,616
h	= BJ. maksimum teoritis, gr/cm^3	p	= tebal koreksi benda uji		
		q	= stabilitas = $o \times p$, kg		
		r	= kelelehan plastis (flow), mm		
		s	= <i>marshall quotient</i> , kg/mm		



Gambar C.9 Bagan alir penelitian

Asal SD (Tahun) : SDN 04 Ulu barumun (2008-2013)

3. Pendidikan Non Formal

Kursus/Penelitian : -

Institut Pelaksana : -

Tanggal Pelaksana : -

4. Software Komputer yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office

Tingkat Penguasaa : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : AutoCAD

Tingkat Penguasaa : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : ArcGIS

Tingkat Penguasaa : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : Adobe Photoshop

Tingkat Penguasaa : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Lhokseumawe, Januari 2024

Jerniati Nasution

190110005