

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik



**KARAKTERISTIK SUBSTITUSI *RECYCLE* LIMBAH BETON SEBAGAI
PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT UNTUK CAMPURAN ASPAL
CONCRETE TERHADAP NILAI MARSHALL**

Tim Peneliti:

**Ikko Bagus Ismanto., ST.,MT.
Herta Novianto., ST., SH., M.Si**

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode 2 Tahun Anggaran 2023/2024

Nomor Kontrak:

043 / LLPM – LIT / UB / IV / 2024

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2024

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

1. Judul Penelitian : **Karakterisrik Subtitusi *Recycle* Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Untuk Campuran Aspal Concrete Terhadap Nilai *Marshall***
2. Ketua Peneliti
 - a. Nama Peneliti : **Ikko Bagus Ismanto., ST.,MT.**
 - b. NIDN :
 - c. Program Studi : **Teknik Sipil**
 - d. E-mail : **ikkobagoesismanto@gmail.com**
 - e. Bidang Keilmuan : **Transportasi**
3. Anggota Peneliti 1
 - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : **Herta Novianto., ST., SH., M.Si**
 - b. NIDN/NIM : **07.2711.6602**
 - c. Program Studi : **Teknik Sipil**
 - d. E-mail : **hertavia2@gmail.com**
 - e. Bidang Keilmuan : **Transportasi**
- Anggota Peneliti 2
 - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : **Dwi Nur Rosyid**
 - b. NIDN/NIM : **21222011104**
 - c. Program Studi : **Teknik Sipil**
 - d. E-mail : **Dwinurrosyid427@gmail.com**
 - e. Bidang Keilmuan
4. Jangka Waktu Penelitian : **6 Bulan**
6. Lokasi Penelitian : **Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro**
7. Dana Diusulkan : **3.500.000,00**

Bojonegoro, 29 April 3024

Mengetahui,

Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,

Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN 07 2108 8601

Ikko Bagus Ismanto, S.T., M.T.
NIDN.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan berkat dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan proposal penelitian ini dengan sebaik-baiknya. Proposal penelitian ini berjudul “ **Karakteristik Substitusi *Recycle* Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Untuk Campuran Aspal Concrete Terhadap Nilai Marshall** ” Proposal ini disusun untuk memenuhi salah satu tridarma perguruan tinggi yaitu penelitian. Kami menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak maka sangat sulit bagi kami untuk menyelesaikan proposal ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam pembuatan proposal penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga nantinya penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu Teknik Sipil ke depan khususnya dalam bidang infrastruktur jalan.

Bojonegoro, 29 April 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	xi
BAB I	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	1
1.4 Manfaat Penelitian.....	1
BAB II.....	3
2.1 Aspal.....	3
2.2 Lapis Aspal Beton (Laston).....	3
2.2.1 <i>Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)</i>	4
2.2.2 <i>Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)</i>	4
2.2.3 <i>Asphalt Concrete – Base (AC-Base)</i>	4
2.3 Karakteristik Aspal Beton	5
2.4 Agregat	7
2.4.1 Agregat Kasar.....	7
2.4.2 Agregat Halus.....	8

2.5	Filler	8
2.6	Limbah Beton	9
2.7	<i>Marshall</i>	9
2.8	Penentuan Nilai KAO	13
2.9	JMF (<i>Job Mix Formula</i>)	13
2.10	<i>Trial And Error</i>	14
2.11	Penelitian Terdahulu	15
BAB III		22
3.1	Jenis dan Pendekatan Penelitian	22
3.2	Lokasi Penelitian	22
3.3	Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel	22
3.4	Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data	23
3.5	Analisis Data	23
BAB IV		27
4.1	Hasil Peneliitian	27
4.1.1	Pengujian Material	27
4.2	Rancangan Gradasi Campuran untuk Campuran AC-BC	29
4.3	Pembuatan Amplop Gradasi Lapisan AC-BC	31
4.4	Penentuan Kadar Aspal Rencana	33
4.5	Pembuatan Benda Uji AC-BC (Asphalt Concrete- Binder Course)	34
4.6	Uji Marshall Kadar Aspal Variasi AC-BC	37
4.6.1	Analisis Terhadap Nilai VIM	62
4.6.2	Analisis Terhadap Nilai VMA	63
4.6.3	Analisis Terhadap Nilai VFA	64
4.6.4	Analisis Terhadap Nilai Stabilitas	65

4.6.5	Analisis Terhadap Nilai Flow	66
4.6.6	Analisis Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ)	67
4.7	Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	67
4.8	Hasil Uji KAO Penambahan Limbah Recycle 25%.....	68
4.8.1	Stabilitas.....	68
4.8.2	Kelelehan (Flow).....	69
4.8.3	VMA (Voids in the Mineral Agregate).....	70
4.8.4	VIM (Void In Mix)	71
4.8.5	VFA (Void Filled with Asphalt)	72
4.8.6	MQ (Marshall Quotient)	73
4.8.7	Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	74
4.9	Hasil Uji KAO Penambahan Limbah <i>Recycle</i> 50%	75
4.9.1	Stabilitas.....	75
4.9.2	Kelelehan (Flow).....	76
4.9.3	VMA (Voids in the Mineral Agregate).....	77
4.9.4	VIM (Void in Mix)	78
4.9.5	VFA (Void Filled with Asphalt)	79
4.9.6	MQ (Marshall Quotient)	80
4.9.7	Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	81
4.10	Hasil Uji KAO Penambahan Limbah <i>Recycle</i> 75%.....	82
4.10.1	Stabilitas.....	82
4.10.2	Kelelehan (Flow).....	83
4.10.3	VMA (Voids in the Mineral Agregate).....	84
4.10.4	VIM (Void in Mix)	85
4.10.5	VFA (Void Filled with Asphalt)	86

4.10.6	MQ (Marshall Quotient)	87
4.10.7	Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	88
BAB V		90
5.1	Kesimpulan	90
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston AC	5
Tabel 2. 2	Analisis Saringan Pada Agregat Kasar, Sedang, Halus Dan Filler	7
Tabel 2. 3	Persyaratan Agregat Kasar	8
Tabel 2. 4	Persyaratan Agregat Halus	8
Tabel 2. 5	Ketentuan Filler	9
Tabel 2. 6	Faktor Koreksi Stabilitas	11
Tabel 2. 7	Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1	Jumlah Sampel Variasi Pengujian	23
Tabel 4. 1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	27
Tabel 4. 2	Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air MA (Medium Agregat)	28
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air	28
Tabel 4. 4	Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal	29
Tabel 4. 5	Grading Agregat Halus	30
Tabel 4. 6	Grading Agregat 5 – 10 mm	30
Tabel 4. 7	Grading Agregat 5 – 10 mm	31
Tabel 4. 8	Gradasi Gabungan.	32
Tabel 4. 9	Pembuatan Benda Uji Laston AC-BC	34
Tabel 4. 10	Proporsi Agregat Benda Uji.	35
Tabel 4. 11	Proposi Campuran Variasi 25%	36
Tabel 4. 12	Proposi Campuran Variasi 50%	36

Tabel 4. 13	Proposi Campuran Variasi 75%	36
Tabel 4. 14	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan Normal	38
Tabel 4. 15	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 25%	39
Tabel 4. 16	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 50%	40
Tabel 4. 17	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 75%	41
Tabel 4. 18	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (Normal)	42
Tabel 4. 19	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (Normal)	43
Tabel 4. 20	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (Normal)	44
Tabel 4. 21	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (Normal)	45
Tabel 4. 22	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (Normal)	46
Tabel 4. 23	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (25 %)	47
Tabel 4. 24	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (25 %)	48
Tabel 4. 25	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (25 %)	49
Tabel 4. 26	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (25 %)	50
Tabel 4. 27	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (25 %)	51
Tabel 4. 28	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (50 %)	52
Tabel 4. 29	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (50 %)	53
Tabel 4. 30	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (50 %)	54
Tabel 4. 31	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (50 %)	55
Tabel 4. 32	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (50 %)	56
Tabel 4. 33	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (75 %)	57
Tabel 4. 34	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (75%)	58
Tabel 4. 35	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (75%)	59
Tabel 4. 36	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (75%)	60
Tabel 4. 37	Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (75%)	61
Tabel 4. 38	Analisis Terhadap Nilai VIM.	62
Tabel 4. 39	Analisis Terhadap Nilai VMA.	63
Tabel 4. 40	Analisis Terhadap Nilai VFA.....	64
Tabel 4. 41	Analisis Terhadap Nilai Stabilitas.....	65
Tabel 4. 42	Analisis Terhadap Nilai Flow.....	66
Tabel 4. 43	Analisis Terhadap Nilai MQ.	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi laston AC-WC, AC-BC, dan AC-Base	3
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	22
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Gabungan.....	33
Gambar 4. 2 Grafik Analisis Nilai V.I.M.	62
Gambar 4. 3 Grafik Analisis Nilai V.M.A.	63
Gambar 4. 4 Grafik Analisis Nilai V.F.A.....	64
Gambar 4. 5 Grafik Analisis Nilai Stabilitas.....	65
Gambar 4. 6 Grafik Analisis Nilai Flow.	66
Gambar 4. 7 Grafik Analisis Nilai MQ.	67
Gambar 4. 8 Kadar Aspal Optimum Normal.....	68
Gambar 4. 9 Grafik Stabilitas.....	69
Gambar 4. 10 Grafik Kelelehan (Flow).....	70
Gambar 4. 11 Grafik VMA.....	71
Gambar 4. 12 Grafik VIM.	72
Gambar 4. 13 Grafik VFA.....	73
Gambar 4. 14 Grafik Marshall Quotient.....	74
Gambar 4. 15 Kadar Aspal Optimum (KAO)	75
Gambar 4. 16 Grafik Stabilitas	76
Gambar 4. 17 Grafik Flow.....	77
Gambar 4. 18 Grafik VMA.....	78
Gambar 4. 19 Grafik VIM	79
Gambar 4. 20 Grafik VFA.....	80
Gambar 4. 21 Grafik Marshall Quotient.....	81
Gambar 4. 22 Kadar Aspal Optimum (KAO)	82
Gambar 4. 23 Grafik Stabilitas	83
Gambar 4. 24 Grafik Flow.....	84
Gambar 4. 25 Grafik VMA.....	85

Gambar 4. 26 Grafik VIM	86
Gambar 4. 27 Grafik VFA.....	87
Gambar 4. 28 Grafik Marshall Quotient.....	88
Gambar 4. 29 Kadar Aspal Optimum (KAO)	88

ABSTRAK

Perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan bahan pengikat seperti aspal atau semen untuk menampung beban lalu lintas. Untuk mengurangi penggunaan agregat baru dari alam, teknologi daur ulang dikembangkan, terutama dengan memanfaatkan limbah beton. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah beton sebagai bagian dari campuran perkerasan aspal concrete (AC-BC). Tujuan penelitian adalah mengurangi limbah beton dan menghasilkan perkerasan jalan yang berkualitas baik.

Penelitian ini memanfaatkan limbah beton sebagai campuran agregat dalam perkerasan aspal concrete (AC-BC) untuk mengurangi penggunaan agregat baru dari alam, menjadikannya lebih ramah lingkungan, dan mengurangi biaya pengerjaan jalan. Selain itu, penelitian ini bertujuan mendaur ulang limbah beton yang belum banyak dimanfaatkan serta meningkatkan nilai stabilitas dan karakteristik Marshall pada perkerasan jalan. Penelitian ini juga memberikan kontribusi pada ilmu teknik sipil, khususnya dalam pekerjaan perkerasan jalan raya.

Penambahan limbah beton daur ulang sebagai pengganti sebagian agregat dalam campuran aspal concrete (AC-BC) mempengaruhi karakteristik Marshall, termasuk Stabilitas, VMA, dan Flow (kelelahan). Penambahan limbah beton 25% menunjukkan stabilitas tertinggi sebesar 2813,22 kg, namun stabilitas menurun seiring dengan peningkatan proporsi limbah beton dan kadar aspal yang lebih tinggi. Penambahan limbah beton 50% dan 75% menunjukkan stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6%, masing-masing dengan nilai 2682,42 kg dan 2388,01 kg. Nilai VMA pada campuran limbah beton lebih baik dibandingkan campuran normal, dengan rentang 20,98% – 22,44% untuk limbah beton 75%, dibandingkan 19,40% – 20,12% pada campuran normal. Semua nilai VMA memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II yang mewajibkan nilai lebih dari 15%.

Bedasarkan data table 4.23 - 4.37 marshall test maka dapat disimpulkan bahwa pada variasi penambahan limbah recycle 50% mendapatkan nilai yang paling mendekati terhadap persyaratan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 Revisi II.

Nilai kadar aspal optimum variasi penambahan limbah Recycle sebagai pengganti sebagian agregat campuran laston AC-BC. Pada penambahan limbah recycle 25% dengan nilai 7,1 %, pada penambahan limbah recycle 50% di dapatkan nilai KAO dengan nilai 7,5% dan untuk penambahan limbah recycle 75% di dapatkan nilai KAO dengan nilai 7,5%

Kata Kunci : Perkerasan Jalan, Limbah Recycle Beton, Uji Marshal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah suatu campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk menampung beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah atau batu belah ataupun bahan lainnya, dan bahan ikat yang digunakan adalah aspal ataupun semen. Di Indonesia, aspal beton AC (*Asphalt Concrete*) yang disebut juga Laston (Lapis Aspal Beton) merupakan lapis permukaan structural atau lapis pondasi atas. Aspal beton terdiri dari tiga macam lapisan, yaitu Laston Lapis Aus AC – WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*), Laston Lapis Permukaan Antara AC – BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) dan Laston Lapis Pondasi AC – Base (*Asphalt Concrete Base*).

Dimana penelitian ini akan memanfaatkan limbah beton sebagai sebagian campuran pada perkerasan jalan Laston AC–BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) yang mana lapis ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapis aus (*wearing course*) dan diatas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus memiliki ketebalan dan kekuatan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan kelapisan di bawahnya yaitu base dan sub grade (tanah dasar), dan karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

Di era yang maju ini perkembangan infastruktur semakin berkembang pesat, mulai dari pembangunan gedung, jembatan, jalan, ataupun infrastruktur lainnya. Dalam hal ini banyak bangunan menggunakan beton yang dirobuhkan guna merekontuksi ulang bangunan yang menjadikan banyaknya limbah beton dari penghancuran gedung ataupun fasilitas lainnya, sehingga menumbuhkan keinginan untuk memanfaatkan limbah beton tersebut melalui eksperimen yang akan dilaksanakan.

Penggunaan bahan limbah beton sendiri dapat menghemat sumber daya alam dan biaya sekitar 20 hingga 40 persen dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi dengan bahan baru serta penggunaan bahan bangunan yang tepat, efisien, dan ramah lingkungan, dan perlu dilakukan pengembangan teknologi infrastruktur jalan dengan menggunakan daur ulang dengan memanfaatkan limbah beton sebagai agregat daur ulang (sudarno,.

2015). Dari permasalahan tersebut timbulah pemikiran untuk melakukan penelitian dalam inovasi beton yang di manfaatkan sebagai penambahan campuran laston untuk perkerasan jalan raya dengan adanya penelitian tersebut diharapkan dapat mengurangi limbah beton yang ada dimasyarakat dan dapat hasilkan stabilitas perkerasan jalan raya yang baik (Heru Hariyadi, dkk., 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka timbul rumusan masalah yang akan diteliti yaitu :

1. Bagaimana karakteristik limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada campuran laston AC – BC.
2. Bagaimana nilai marshall terhadap perkerasan jalan menggunakan campuran limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar campuran laston AC-BC.
3. Berapakah nilai kadar aspal optimum pada pencampuran limbah *Recycle* Beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar campuran laston AC – BC.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik limbah beton sebagai sebagian campuran agregat kasar dalam campuran laston AC – BC.
2. Untuk mengetahui nilai marshall terhadap perkerasan jalan menggunakan campuran limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar campuran laston AC-BC.
3. Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum pada campuran penambahan limbah *Recycle* sebagai pengganti sebagian agregat kasar campuran laston AC – BC.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Mengurangi masalah mengenai limbah beton yang ada disekitar kita sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-BC) untuk perkerasan jalan raya.
2. Dapat menjadi referensi ataupun acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengaruh limbah beton sebagai pengganti kasar pada campuran laston (AC-BC) untuk perkerasan jalan raya.

3. Mengetahui nilai karakteristik marshal yang memiliki nilai stabilitas dan marshall quotient yang baik sehingga bisa dimanfaatkan sebagai campuran laston (AC-BC) untuk perkerasan jalan raya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

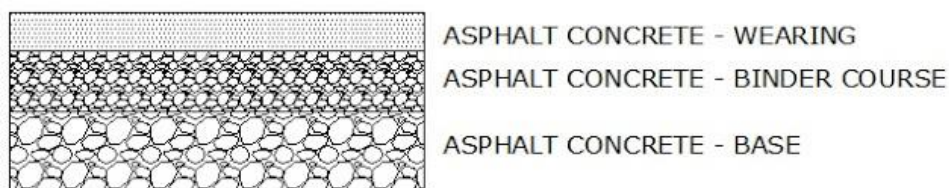
2.1 Aspal

Aspal merupakan material yang berwarna hitam sampai coklat tua dimana pada temperatur ruang berbentuk padat sampai semi padat. Jika temperatur tinggi aspal akan mencair dan pada saat temperatur menurun aspal akan kembali menjadi keras (padat) sehingga aspal merupakan material yang *termoplastis* (Mashuri, 2010).

Aspal merupakan salah satu jenis material yang paling familiar karena sangat sering terlihat ketika kita melewati jalan raya di lingkungan sekitar kita. Dari segi definisinya, aspal adalah sebuah senyawa hidrokarbon yang dipadu dengan senyawa sulfur, oksigen dan klor di dalamnya, di mana diproduksi dan dikelola dari bahan alam berupa minyak bumi. Fungsi utama aspal adalah sebagai bahan pengikat dan pelapis permukaan tanah yang penggunaannya dicampur dengan senyawa lain seperti bitumen dan mineral. Sehingga di praktek lapangan, bahan jenis aspal akan mengikat batuan dan komponen lain agar tidak terlepas dari permukaan jalan. Aspal yang berfungsi sebagai pengikat ini memang mendominasi karena sifat alami jenis aspal yang dapat mencair bila dipanaskan dan membeku bila suhu aspal sudah turun.

2.2 Lapis Aspal Beton (Laston)

Merupakan campuran beraspal yang merupakan kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan (Pusjatan, 2019).



Gambar 2. 1 Konstruksi laston AC-WC, AC-BC, dan AC-Base

Di Indonesia, Aspal beton (*Asphalt Concrete* atau AC) yang disebut juga dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) merupakan lapis permukaan struktural atau lapis pondasi atas. Aspal beton terdiri dari tiga macam lapisan, yaitu Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course* atau AC-WC), Laston Lapis Permukaan Antara (*Asphalt Concrete - Binder Course* atau AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete-Base* atau AC-Base). (Sumber: Wab Site KitaSipil.com)

2.2.1 Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete -Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Walaupun bersifat non struktural, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya.

2.2.2 Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekauan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

2.2.3 Asphalt Concrete – Base (AC-Base)

Lapisan pondasi atas (AC- Base) merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapisan ini terletak di bawah lapis pengikat (AC- BC), perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Lapis Pondasi (AC-Base) berfungsi untuk memberi dukungan lapis permukaan, mengurangi regangan dan tegangan, menyebarkan dan meneruskan beban konstruksi jalan di bawahnya (*sub grade*).
(Sumber: Wab Site KitaSipil.com)

Berikut ketentuan tentang sifat – sifat campuran laston AC dapat dilihat pada tabel

2.1 dibawah ini :

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston AC

Sifat - sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3		
	Maks.	5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) Pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Bidang Jalan dan Jembatan (2018)

2.3 Karakteristik Aspal Beton

Menurut Silvia Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan, kelenturan atau *fleksibilitas*, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang dilayani. Jalan yang melayani *volume* lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah :
 - a. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.
 - b. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

2. Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.
3. Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah kemampuan beton aspal untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.
5. Kekesatan/tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.
6. Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.
7. *Workability* adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Kemudahan pelaksanaan menentukan tingkat *effisiensi* pekerjaan. Faktor kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur dan gradasi serta kondisi agregat.

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

durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi.

2.4 Agregat

Agregat atau batu atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain :

- a. Batu bulat
- b. Batu pecah
- c. abu batu, dan
- d. Pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan.

Tabel 2. 2 Analisis Saringan Pada Agregat Kasar, Sedang, Halus Dan Filler

Ukuran ayakan		Gradasi Agregat (kumulatif lolos saringan) (%)			
milimeter	inch	Kasar	Sedang	Halus	<i>Filler</i>
19	2/4"	100	100	100	100
12,5	1/2"	89,3	100	100	100
9,5	3/8"	33,5	93,5	100	100
4,75	No. 4	3,0	15,9	96,4	100
2,36	No. 8	2,5	4,6	55,7	100
1,18	No. 16	2,5	4,3	35	100
0,6	No. 30	2,4	4,1	26,8	100
0,3	No. 50	2,4	3,9	19,7	100
0,15	N0. 100	2,3	3,5	13,9	100
0,075	N0. 200	2,2	3,1	10,6	98

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Bidang Jalan dan Jembatan (2018)

2.4.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No 8 (2,36mm), sedangkan menurut SNI 1969:2008, agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir antara No 4 (4,75) sampai 40mm (1,5 inch).

Tabel 2. 3 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainya		95/90 **)
Partikel pipih dan lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainya		Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Bidang Jalan dan Jembatan (2018)

2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No 8 (2,36mm)

Tabel 2. 4 Persyaratan Agregat Halus

Penguji	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-202	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Bidang Jalan dan Jembatan (2018)

2.5 Filler

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan merupakan bahan yang 75% lolos ayakan No. 200 dan mempunyai sifat *non plastis*. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah *portland cement*.

Adapun ketentuan *filler* pada campuran aspal menurut Bina Marga 2018 adalah:

1. Bahan pengisi yang ditam bahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M 303-89(2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen.60-70.
2. Bahan pengisi yang ditam bahkan harus kering dan bebas dari gumpalangumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136: 2012 harus

mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya.

3. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*), untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat. Khusus untuk SMA tidak dibatasi kadarnya tetapi tidak boleh menggunakan semen.

Tabel 2. 5 Ketentuan Filler

Pengujian	Standart	Nilai
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-6723-2002	Min. 70%

Sumber : *Spesifikasi Umum Bina Marga Bidang Jalan dan Jembatan (2018)*

2.6 Limbah Beton

Limbah adalah benda yang dibuang baik berasal dari alam maupun berasal dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis.

Sedangkan limbah beton adalah material beton dari hasil penghancuran beton struktur yang sudah tidak terpakai lagi yang diambil dari kegagalan dalam pembuatan beton pracetak di pabrik, sisa – sisa reruntuhan dari gempa bumi, pembangunan rekonstruksi atau renovasi gedung yang jumlahnya banyak akan menimbulkan masalah baru.

Namun dalam penelitian ini, peneliti menggunakan limbah beton yang berasal dari laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro. Meminimalkan limbah beton yang berkelanjutan dapat mengurangi limbah beton yang dapat merusak lingkungan (Sudarno, 2017).

Untuk memanfaatkan limbah beton sebagai campuran agregat kasar AC – BC, limbah beton di tumbuk hingga menjadi kepingan kecil yang lolos saringan No. 1/2 atau setara dengan ukuran 12,5 mm sesuai spesifikasi agregat kasar perkerasan jalan aspal menurut Bina Marga tahun 2018.

2.7 Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan nilai kelelahan (flow), pengujian ini menggunakan alat Marshall test yang merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 2700 kg. Proving ring

digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastik atau flow. Dalam pengujian marshall test benda uji diharuskan untuk memiliki temperature 60°C atau lebih dengan cara di rendam ke dalam water bath selama kurang lebih 45 menit.

Alat uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 10,2 cm dan tinggi 6,35 cm. serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Pengujian Marshall pada campuran aspal concrete digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat Marshall seperti:

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani.

Stabilitas campuran tergantung pada gaya gesek internal dan kohesitas. Gaya gesek antara butiran – butiran agregat berhubungan dengan sifat agregat seperti gradasi, bentuk dan tekstur permukaan, sedangkan kohesitas merupakan gaya ikat yang dimiliki aspal dan dipengaruhi oleh tipe dan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan. Daya ikat dan gaya gesek akan menahan perpindahan antar butiran agregat akibat beban lalu lintas.

Nilai stabilitas didapatkan berdasarkan nilai masing-masing benda uji dari pembacaan arloji atau yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat Marshall. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

Berikut rumus yang digunakan untuk mencari nilai stabilitas sebagai berikut :

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Pembacaan arloji tekan x angka korelasi beban

q : Angka koreksi tebal benda uji.

Tabel 2. 6 Faktor Koreksi Stabilitas

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

Sumber : SNI 06-2489-1991

2. Kelelahan (Flow)

Kelelahan (*flow*) Ketahanan terhadap kelelahan (*flow*) merupakan kemampuan beton aspal dalam menerima lendutan berulang akibat dari repetisi beban, tanpa terjadi kerusakan kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai apabila mempergunakan kadar aspal yang optimal.

3. Void in Mineral Aggregate (VMA)

Void In Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat diantara campuran aspal yang sudah dipadatkan. VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen *volume bulk* (V_{bulk}) campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Nilai VMA dinyatakan dalam persen (%).

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Keterangan :

VMA = Volume pori antar agregat didalam campuran (%)

G_{mb} = Berat jenis *Bulk* campuran (gr/cc)

P_s = Kadar agregat (%)

G_{sb} = Berat jenis *Bulk* dari agregat (gr/cc)

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left[\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \right]$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)

G_{mb} = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

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

P_b = Kadar aspal, persen total campuran, (%)

4. Void filled White Bitumen (VFB)

Void Filled Bitumen (VFB), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang sudah mengalami pemadatan.

$$VFB = 100 - \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

Keterangan :

VFB = Volume pori antar butir agregat, prosentase dari VMA (%)

VMA = Volume pori antar agregat didalam campuran (%)

VIM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

5. *Void In Mix (VIM)*

Void In Mix (VIM) merupakan banyaknya rongga di antara butir – butir agregat yang doselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam presentase terhadap volume beton aspal.

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

Keterangan :

VIM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

G_{mm} = Berat jenis maximum campuran (gr/cc)

G_{mb} = Berat jenis aspal (gr/cc)

6. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan *fleksibilitas* campuran.

Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

keterangan:

MQ = Marshall Quotient, (kg/mm)

MS = Marshall Stability, (kg)

MF = Flow Marshall, (mm)

2.8 Penentuan Nilai KAO

Untuk menentukan kadar aspal optimum yang dipakai, diambil berdasarkan 6 karakteristik *marshall*, yaitu : Stabilitas, Kelelehan, dan hasil uji *Marshall*. Kadar aspal optimum selanjutnya akan ditentukan dari nilai kadar tengah antara rentang kadar asal maksimum dan minimum yang memenuhi persyaratan spesifikasi.

2.9 JMF (*Job Mix Formula*)

Proses merancang dan memilih bahan yang cocok dan menentukan proporsi relative dengan tujuan mendapatkan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu dan se ekonomis mungkin. Job Mix Formula atau komposisi campuran didasarkan pada fraksi Coarse agregat ¾”, Medium agregat ½”, Pasir, dan Filler. Dari analisa komposisi gradasi

diperoleh komposisi campuran agregat sebagai campuran benda uji. Untuk mengetahui besarnya kadar aspal optimum untuk suatu campuran aspal dilakukan dengan membuat aspal variasi (Yudhi Pratama, 2018)

Dalam mendapatkan campuran aspal beton yang baik maka harus diperhatikan pencampuran agregatnya. Pencampuran agregat tersebut sangat berpengaruh pada komposisi campuran agar didapatkan suatu campuran yang homogen dan butir agregat yang sesuai standar spesifikasi. Salah cara yang digunakan dengan Cara Analitis Prinsip kerja dari metode ini adalah :

1. Tentukan gradasi agregat yang digunakan.
2. Tentukan campuran agregat dan filler. Hitung butiran agregat yang lewat saringan sesuai gradasi lapisan dengan mengalikan presentase agregat.
3. Tentukan spesifikasi ideal terhadap butiran yang lewat saringan nomor 200. Hitung kekurangan butiran yang lewat saringan nomor 200 dengan mengurangi spesifikasi ideal dengan total butiran lewat saringan nomor 200.
4. Tentukan komposisi campuran.

Dalam perencanaan suatu campuran, kadar aspal ditentukan dengan rumus berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil 2002 seperti berikut ini:

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\text{filler}) + K$$

Keterangan :

P = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

Ca = Persen agregat tertahan saringan No 8

FA = Persen agregat lolos saringan No 8 dan tertahan saringan No.200

Filler = Persen agregat minimal 75% lolos No 200

K = Konstanta; 0,5-1,0 untuk laston; 2,0 – 3,0 untuk lataston (Sukirman, 2007)

2.10 Trial And Error

Trial and error (metode coba - coba) merujuk pada upaya atau metode untuk mencapai sebuah tujuan melalui berbagai cara. *Trial and error* juga merupakan metode pemecah masalah, perbaikan, penyetulan, atau memperoleh pengetahuan. Upaya yang dilakukan beberapa kali hingga akhirnya mendapatkan hasil yang di butuhkan. Pendekatan ini dapat dilihat sebagai salah satu dari dua pendekatan dasar untuk pemecahan masalah, dikontraskan dengan pendekatan yang menggunakan wawasan dan teori. Hubungan fungsional antara pengalaman dan teori pada metode ini di tunjukan

untuk mencari solusi yang tepat atau hasil yang diinginkan. Sebab dengan metode *trial and error* kita juga melibatkan eksperimen dan pengalaman dari pada teori. Berbagai macam cara digunakan demi mengetahui cara – cara yang dianggap keliru dan kurang tepat dihilangkan agar mendapatkan hasil atau mencapai tujuan yang diinginkan.

Metode *trial and error* digunakan paling berhasil dengan masalah sederhana dan sering kali merupakan pilihan terakhir ketika tidak ada aturan yang jelas berlaku. Namun metode ini tidak berarti bahwa pendekatan tersebut pada dasarnya ceroboh, karena seorang individu dapat dengan leluasa dalam memanipulasi variabel dalam upaya untuk memilah – milah kemungkinan yang dapat menghasilkan kesuksesan. Namun demikian, metode ini sering digunakan oleh orang – orang yang memiliki sedikit pengetahuan di bidang masalah tersebut.

Tujuan metode *trial and error* adalah sebagai berikut :

1. Berfokus pada solusi, metode ini tidak berusaha untuk menemukan mengapa solusi bekerja, namun hanya bahwa solusi atau hasil itu ditemukan atau diketahui.
2. Solusi yang dihasilkan atau ditemukan tidak untuk menggeneralisasi solusi untuk masalah lain.
3. Metode ini umumnya adalah upaya untuk menemukan sebuah solusi, namun bukan semua solusi.
4. Membutuhkan sedikit pengetahuan yang dapat dilanjutkan dimana ada sedikit atau tidak ada pengetahuan tentang subjek.

Dimungkinkan untuk menggunakan metode *trial and error* untuk menemukan semua solusi atau solusi yang terbaik, ketika ada sejumlah solusi yang memungkinkan dan dapat diuji. Untuk menemukan semua solusi, peneliti cukup membuat catatan dan melanjutkan, dari pada berhenti di tengah proses, dan ketika solusi di temukan dan telah diuji semua, untuk menemukan yang terbaik.

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Penelitian	Metode Penelitian	Variabel atau Instrumen	Hasil Penelitian
1	Jerniati Nasution (2024)	Pada penelitian ini	Persentase campuran limbah	Kesimpulan pada penelitian ini

		yang dilakukan yaitu dari tahap persiapan, tahap pelaksanaan, tahap pengujian, dan tahap pengolahan data untuk memperoleh hasil penelitian.	aspal beton dan limbah beton adalah 0%,50%,75%,dan 95%.	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%.
2	Naufal Imannurrohman, Sudarno, Muhammad Amin (2021)	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode desain empiris secara eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan percobaan guna mendapatkan data.	Pada tahap ini akan dihasilkan kadar komposisi yang optimum. Berpedoman pada kadar aspal yang sudah disyaratkan dalam Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010. Kadar aspal yang digunakan sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%,. Kemudian penambahan limbah beton kadar 0%, 10%, 15%, 20% sesuai prosentase jumlah campuran agregat kasar.	Berdasarkan nilai karakteristik Marshall kadar optimum campuran AC-WC didapatkan pada kadar limbah beton 15% dengan menggunakan aspal pertamina pen 60/70 kadar aspal sebesar 6% berpengaruh baik terhadap nilai karaktersitik marshall seperti Stabilitas sebesar 1869,30 kg, Flow sebesar 3,17 mm, VFB sebesar 76,97%, VMA sebesar 16,64 %, VIM sebesar 3,83% dan MQ sebesar 590,97 kg/mm. dengan demikian

				campuran tersebut sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.
3	Ahmad Gasrudin (2021)	Dalam Penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium. Campuran aspal berongga diproduksi dengan menggunakan pecahan limbah beton sebagai agregat kasar dengan variasi komposisi dan aspal cair sebagai bahan pengikat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan	kadar aspal rencana yaitu : 4 %, 5 %, 6 %, dan 7 % dan setiap kadar aspal terdiri dari lima sampel.	Dari hasil pengujian di laboratorium tentang “Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Aspal Berongga Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70” dapat disimpulkan bahwa nilai karakteristik marshall dari campuran aspal berongga pada kadar aspal 7 % adalah yang tertinggi dimana nilai Stabilitas yaitu 2950,13 kg, nilai Kelelehan/Flow yaitu 2,63 mm, nilai VIM/

		Standar Nasional Indonesia (SNI).		Porositas yaitu 19,86 % dan nilai Permeabilitas yaitu 0,42 ltr/dtk sedangkan nilai yang terendah terdapat pada kadar aspal 4% dimana nilai Stabilitas yaitu 1669,37 kg, nilai Kelelehan/Flow yaitu 5,83 mm, nilai VIM/ Porositas yaitu 22,56 % dan nilai Permeabilitas yaitu 0,54 ltr/dtk.
4	Ahmad Maulana, Megah Amaliah, Retno Utami (2020)	Dalam Penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium.	agregat kasar ukuran 12,5 mm dan 9,5 mm dan kadar limbah beton yang digunakan dalam campuran yaitu 0%, 50%, dan 100%.	Karakteristik aspal harus memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Sesuai pada Tabel 8., pada penggunaan kadar limbah beton 100% terdapat salah satu syarat karakteristik aspal yang tidak terpenuhi yaitu VIM. Sedangkan

				pada kadar limbah beton 50%, memenuhi semua spesifikasi karakteristik aspal. Oleh karena itu, kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada campuran aspal AC-WC yaitu pada kadar limbah beton 50%.
5	Pande Made Isudaan Suastika, Bambang Edyantadji, Mohamad Erfan (2019)	Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium.	variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,13% pada agregat alami dan 7,08% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan	Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 52% limbah. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1011,64 kg, Flow 3,36%, VIM 5,65%, VMA 21,15%, Marshall Quotient 306,01 kg/mm, VFA 72,84%. Semua hasil pengujian pada

			campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah.	variasi memenuhi persyaratan spesifikasi HRS– WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.
--	--	--	---	--

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen di laboratorium. Campuran aspal diproduksi dengan menggunakan pecahan limbah beton atau sampel beton yang ada di sekitar laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan variasi dan komposisi dan aspal cair sebagai bahan pengikatnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tahap awal dilakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan. Kemudian setelah sampel briket telah dibuat, dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai permeabilitas, stabilitas, dan kelelahan melalui Pengujian Marshall. Dari pengujian ini diharapkan akan diperoleh komponen penyusun dan persentase komposisi yang terdapat dalam material dan briket aspal AC-BC.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Bojonegoro.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
Sumber : Google Earth

3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini menggunakan metode cara basah, yaitu dengan cara pencampuran agregat limbah beton dengan agregat alami, dan sudah ditambahkan bitumen/aspal panas. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%,

7,5%, 8%, untuk mencari nilai KAO dan variasi pengganti agregat limbah beton 25%, 50%, 75%, dari berat total benda uji. Dalam penelitian ini setiap variasi menggunakan 5 sampel benda uji sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Variasi Pengujian

Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Limbah Beton	Jumlah
1	6%	25%	5
2	6,5%	25%	5
3	7%	25%	5
4	7,5%	25%	5
5	8%	25%	5
6	6%	50%	5
7	6,5%	50%	5
8	7%	50%	5
9	7,5%	50%	5
10	8%	50%	5
11	6%	75%	5
12	6,5%	75%	5
13	7%	75%	5
14	7,5%	75%	5
15	8%	75%	5
Jumlah			75

3.4 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dari hasil pengujian terhadap aspal, agregat, campuran antara aspal dan agregat untuk perkerasan Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). Berdasarkan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilakukan pengujian terhadap nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan Marshall Quotient dan indek peredaman terhadap seluruh benda uji dengan menggunakan alat marshall. Pengambilan data pada alat marshall dilakukan dengan mencatat besarnya gaya yang didapat menghancurkan benda uji tersebut. Dari pengujian marshall, akan didapatkan kadar aspal optimum (KAO).

3.5 Analisis Data

Metode yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Metode Trial and error. Metode trial and error adalah suatu metode pendalaman materi dengan mencoba dan menemukan, dimana metode ini merujuk pada upaya untuk mencapai tujuan melalui percobaan. Upaya ini dilakukan hingga beberapa kali hingga mendapatkan hasil yang paling sesuai.

Pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai dengan alir yang terdapat pada gambar 3.2. pelaksanaan penelitian dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian setelah itu dilanjutkan dengan pemeriksaan bahan penyusun aspal, pembuatan jom mix formula, pembuatan benda uji hingga pengujian marshall di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Bojonegoro.

Berikut langkah penelitian yang dilakukan sesuai dengan diagram alir penelitian, yaitu :

1. Persiapan alat dan bahan

Pengujian agregat kasar, halus, dan *filler*, pengujian agregat kasar dan halus meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air dengan acuan SNI 03-1970-1990. Sedangkan pengujian *filler* harus lolos saringan no. 200, minimal 70% sesuai dengan acuan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan bebas dari semua bahan yang tidak dikehendaki, dan harus dalam keadaan kering.

2. Perencanaan *Job Mix Formula*

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

- a. Menentukan berat total benda uji untuk mempermudah menentukan persentase campuran.
- b. Menentukan kadar bahan tambah limbah beton dengan persentase 25%, 50%, dan 75% dari berat total campuran.
- c. Menentukan kadar agregat kasar 1,2 pada masing – masing variasi.
- d. Menentukan kadar agregat kasar, halus, *filler*, dan aspal pada masing – masing persentase.

3. Pembuatan benda uji

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

- a. Menyiapkan bahan campuran seperti aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Kemudian timbang bahan sesuai dengan JMF (*Jon Mix Formula*) yang telah ditentukan.
- b. Menyiapkan alat – alat untuk pembuatan benda uji, seperti kompor gas, tabung gas, wajan, penumbuk, cetakan, dan lain sebagainya.
- c. Memanaskan aspal hingga mencair hingga suhu di atas 150°C

- d. Memanaskan agregat kasar, halus, dan *filler* sambil di aduk hingga mencampur sampai suhu lebih dari 150°C.
- e. Mencampur agregat yang telah di panaskan dengan aspal yang telah ditentukan sesuai JMF (*Jon Mix Formula*) dan diaduk hingga aspal merata.
- f. Menyiapkan cetakan benda uji (*mould*) lengkap dengan alas cetakan yang sudah diolesi minyak pelumas dan kertas lakmus pada dasar cetakan dan diatas campuran setelah campuran di masukan pada cetakan.
- g. Memasukan campuran yang telah di panaskan kedalam cetakan dan ditusukan besi agar campuran memenuhi ruang yang kosong pada cetakan dengan prosedur menusuk bagian pinggir dan tengah sebanyak 25 kali.
- h. Dilakukan penumbukan pada campuran didalam cetakan dengan tumbukan sebanyak 150 kali, yang di bagi 75 kali setiap sisinya.
- i. Setelah penumbukan selesai benda uji di dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan dongkrak.
- j. Setelah dingin benda uji di timbang untuk mengetahui berat kering benda uji. Dan setelah itu benda uji direndam dalam air sampai kurang lebih 24 jam.
- k. Setelah benda uji di rendam kurang lebih 24 jam, benda uji kembali ditimbang dengan metode ditimbang dalam air dan di timbang kering permukaan atau SSD.
- l. Rendam benda uji kedalam bak pemanas hingga suhu lebih dari 60°C.
- m. Uji *marshall* benda uji setelah panas benda uji lebih dari atau sama dengan 60°C.

4. Pengujian dengan alat *marshall*

Pengujian dengan alat *marshall test* deilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- a. Ukur diameter dan tinggi benda uji
- b. Merendam benda uji pada bak pemanas selama kurang lebih 45 menit hingga suhu lebih dari atau sama dengan 60°C.

- c. Setelah benda uji memenuhi suhu yang telah ditentukan, benda uji yang akan di tes diangkat dari bak pemanas dan di letakan pada cetakan penekan alat *marshall test*.
 - d. Letakan cetakan penekan di bawah ring *marshall test* pada posisi lurus dan rata.
 - e. Nyalakan mesin dengan arah panel *UP* untuk memulai uji *marshall*. Proses ini dilakukan dengan kecepatan 51mm permenit, kemudian dibaca pada saat arloji (*dial*) stabilitas berhenti atau berputar kembali.
5. Analisa hasil dan kesimpulan
- Sesuai dengan acuan penelitian terdahulu, penelitian ini akan fokus pada pembahasan mengenai karakteristik limbah beton sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap nilai *marshall* yang meliputi :
- a. Stabilitas
 - b. Kelelehan (*flow*)
 - c. VMA
 - d. VIM
 - e. VFA
 - f. Kepadatan (*density*)
 - g. MQ (*marshall quotient*).

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini :

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Peneliitian

4.1.1 Pengujian Material

Pengujian utama material agregat yang dilakukan terdiri pengujian berupa analisis saringan agregat kasar, agregat halus dan filler (Dep. PU, SNI ASTM C136:2012). Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (Dep. PU, SNI 1969:2016). Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (Dep. PU, SNI 1970:2016). Tahapan pertama pada penelitian ini adalah memilih material batu pecah dengan batasan ukuran yang telah ditentukan, kemudian dilakukan pemeriksaan berat jenis dalam kondisi kering permukaan (Saturated Surface Dry) dan semu (Apparent Specific Grafity). Standar agregat yang digunakan harus memiliki berat jenis minimum 2,5 gram/cm³ dan penyerapan air maksimum sebesar 3%.

Langkah pertama dalam tahapan penelitian ini adalah memilih material batu pecah dengan batasan ukuran yang telah ditentukan, kemudian dilakukan pemeriksaan berat jenis dalam kondisi kering permukaan (saturated surface dry) dan semu (apparent specific grafity). Langkah selanjutnya yaitu memeriksa berat air yang dapat diserap pori melalui tes penyerapan air, adapun pemilihan agregat digolongkan menjadi FA (Fine Agregat), MA (Medium Agregat) dan Bottom ash sebagai pengganti CA (Course Agregat)

Berikut adalah hasil dari pengujian agregat yang telah dilakukan, dimulai dari pengujian ukuran agregat yang kecil hingga agregat yang berukuran besar :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus		A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)		500	500	500	Gram
Berat benda uji kering - oven,	Bk	496	495	496	Gram
Berat piknometer diisi air,	B	665,54	669,63	671,96	Gram
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air,	Bt	987,18	991,13	994,52	Gram
Kadar air		0,87			%
Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus		A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	2,78	2,77	2,80	2,78
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	2,80	2,80	2,82	2,81
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2,84	2,85	2,86	2,85
Penyerapan	$\frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$	0,81	1,01	0,81	0,87

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air MA (Medium Agregat)

Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering - oven,	Bk	2000	2000	2000	Gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	2025	2024	2025	Gram
Berat benda didalam air	Ba	1230	1232	1228	Gram
Kadar air		1,23			%
Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	2,52	2,53	2,51	2,52
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	2,55	2,56	2,54	2,55
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2,60	2,60	2,59	2,60
Penyerapan	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	1,25	1,2	1,25	1,23

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Satuan
Berat benda uji kering - oven,	Bk	2000	2000	2000	Gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	2021	2020	2023	Gram
Berat benda didalam air	Ba	1228	1227	1229	Gram
Kadar air		2,92			%
Perhitungan Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar		A	B	C	Rata-rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	2,52	2,52	2,52	2,52
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	2,55	2,55	2,55	2,55
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2,59	2,59	2,59	2,59
Penyerapan	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	1,05	1	1,15	1,07

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Hasil pengujian agregat di atas berdasarkan SNI 1970-2016 dapat disimpulkan bahwa berat jenis di dapatkan hasil 2.78% untuk FA (*Fine Agregat*), 2.52% untuk CA (*Course Agregat*). Persyaratan spesifikasi minimal berat jenis bulk adalah 2.5 dan penyerapan agregat tidak boleh lebih dari 3% kurang atau lebih dari itu maka agregat tidak dapat digunakan. Pemeriksaan agregat ini digunakan untuk mencari hasil berat jenis bulk dari total agregat dan berat jenis efektif dari agregat.

1. Pengujian Sifat Fisik Aspal Pen 60/70

Pengujian terhadap aspal meliputi penetrasi, titik lembek. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal.

NO	JENIS PEMERIKSAAN	A	B	Rata-rata	Satuan	Spek.
1	Pemeriksaaan (Penetrasi test) 25° C : 100 gr : 5 second	69	68	68.5	0.1 mm	60-70
	SNI. 2456-2011					
2	Kelembekan (Softening Point Test)	53	54	53,5	°C	48-58
	SNI. 2434-2011					

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Hasil pengujian penetrasi diketahui bahwa aspal dari perusahaan Berlian Aspal Bakar Kabupaten Bogor yang digunakan tergolong aspal yang keras. Ditinjau pada suhu ruang memiliki nilai penetrasi 68,5. Aspal yang keras memiliki kisaran 60-70 menurut SNI 2456-2011, sedangkan aspal dari AMP PT. Rajekwesi Jaya Raya Desa Katur Kecamatan Gayam Kabupaten Bojonegoro dan dari Toko Barokah Desa Ngampel Kec. Kapas belum memenuhi sifat aspal menurut SNI 2456-2011.

4.2 Rancangan Gradasi Campuran untuk Campuran AC-BC

Gradasi campuran ini dilakukan dengan agregat baru sehingga bisa memenuhi gradasi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 revisi II. Komposisi rancangan campuran dibagi menjadi fraksi-fraksi tertentu, meliputi:

1. Agregat Kasar (Coarse Aggregate) dengan ukuran 10-15 mm,.
2. Agregat Sedang (Medium Aggregate) dengan ukuran 5-10 mm.
3. Agregat Halus (Fine Aggregate) dengan ukuran 0-5 mm.
4. Filler abu batu.

Spesifikasi campuran yang digunakan yaitu Bina Marga 2018 Revisi II divisi 6, untuk mencapai resep spesifikasi maka peneliti mencoba sebuah komposisi campuran dengan menggabungkan material agregat kasar, agregat halus serta filler menjadi campuran homogen dan mempunyai susunan butir yang diharapkan mampu memenuhi standart spesifikasi yang disyaratkan. Fraksi agregat yang ditentukan dari 4 fraksi tersebut masing – masing akan dibagi menjadi 2 bagian untuk proses grading atau ayakan yang

mana akan memiliki berat yang berbeda lalu akan di rata-rata dari berat kumulatif persen agregat yang lolos.

Ayakan (*Grading*) yang dilakukan menggunakan alat saringan agregat dari ukuran bukaan saringan yang terbesar hingga yang terkecil yaitu ½”-200” dimana akan menghasilkan gradasi untuk pencampuran komposisi AC-BC. Komposisi rancangan campuran terbagi atas empat fraksi yaitu Agregat FA (*Fine Agregat*), Agregat MA (*Medium Agregat*), Agregat Bottom Ash sebagai pengganti CA (*Course Agregat*), *Filler* dengan abu batu. Berikut ini adalah tabel untuk hasil analisa saringan di lakukan 2 kali pengambilan sampel lalu di rata rata nilai yang lolos per saringan.

Tabel 4. 5 Grading Agregat Halus.

ayakan		I			II			I	II	rata-rata
astm	mm	berat tertahan	% tertahan	% lolos	berat tertahan	% tertahan	% lolos	komulatif tertahan		
1"	25	0	0	100	0	0,00	100,00	0	0	100
3/4"	19	0	0	100	0	0,00	100,00	0	0	100
1/2"	12,5	12	0,48	99,52	8	0,32	99,68	12	8	99,60
3/8"	9,5	20	1,28	98,72	63	2,85	97,15	32	71	97,93
#4	4,75	102	5,37	94,63	74	5,82	94,18	134	145	94,41
#8	2,36	256	15,63	84,38	174	12,80	87,20	390	319	85,79
#16	1,18	282	26,92	73,08	236	22,27	77,73	672	555	75,40
#30	0,6	534	48,32	51,68	623	47,27	52,73	1206	1178	52,21
#50	0,3	484	67,71	32,29	527	68,42	31,58	1690	1705	31,94
#100	0,15	594	91,51	8,49	591	92,13	7,87	2284	2296	8,18
#200	0,075	212	99,84	0,16	196	99,68	0,32	2496	2492	0,24
jumlah		2496			2492					

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 6 Grading Agregat 5 – 10 mm.

ayakan		I			II			I	II	rata-rata
astm	mm	berat tertahan	% tertahan	% lolos	berat tertahan	% tertahan	% lolos	komulatif tertahan		
1"	25	0	0,00	100	0	0,00	100,00	0	0	100
3/4"	19	0	0,00	100	0	0,00	100,00	0	0	100
1/2"	12,5	79	3,16	96,84	98	3,32	96,08	79	98	96,46
3/8"	9,5	477	22,24	77,76	481	23,16	76,84	556	579	77,30
#4	4,75	903	58,36	41,64	944	60,92	39,08	1459	1523	40,36
#8	2,36	751	88,28	11,72	701	88,96	11,04	2207	2224	11,38
#16	1,18	255	98,48	1,52	244	98,72	1,28	2462	2468	1,40
#30	0,6	15	99,08	0,92	12	99,20	0,80	2477	2480	0,86

ayakan		I			II			I	II	rata-rata
astm	mm	berat tertahan	% tertahan	% lolos	berat tertahan	% tertahan	% lolos	komulatif tertahan		
#50	0,3	8	99,40	0,60	9	99,56	0,44	2485	2489	0,52
#100	0,15	8	99,72	0,28	7	99,84	0,16	2493	2496	0,22
#200	0,075	4	99,88	0,12	3	99,96	0,04	2497	2499	0,08
jumlah		2497			2499					

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 7 Grading Agregat 5 – 10 mm.

ayakan		I			II			I	II	rata-rata
astm	mm	berat tertahan	% tertahan	% lolos	berat tertahan	% tertahan	% lolos	komulatif tertahan		
1"	25	0	0,00	100	0	0,00	100,00	0	0	100
3/4"	19	0	0,00	100	0	0,00	100,00	0	0	100
1/2"	12,5	1145	45,80	54,20	1123	44,92	55,08	1145	1123	54,64
3/8"	9,5	875	80,80	19,20	847	78,80	21,20	2020	1970	20,20
#4	4,75	462	99,28	0,72	511	99,24	0,76	2482	2481	0,74
#8	2,36	5	99,48	0,52	7	99,52	0,48	2487	2488	0,50
#16	1,18	1	99,52	0,48	1	99,56	0,44	2488	2489	0,46
#30	0,6	1	99,56	0,44	2	99,64	0,36	2489	2491	0,40
#50	0,3	1	99,60	0,40	2	99,72	0,28	2490	2493	0,34
#100	0,15	3	99,72	0,28	2	99,80	0,20	2493	2495	0,24
#200	0,075	0	99,72	0,28	0	99,80	0,20	2493	2495	0,24
jumlah		2493			2495					

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

4.3 Pembuatan Amplop Gradasi Lapisan AC-BC

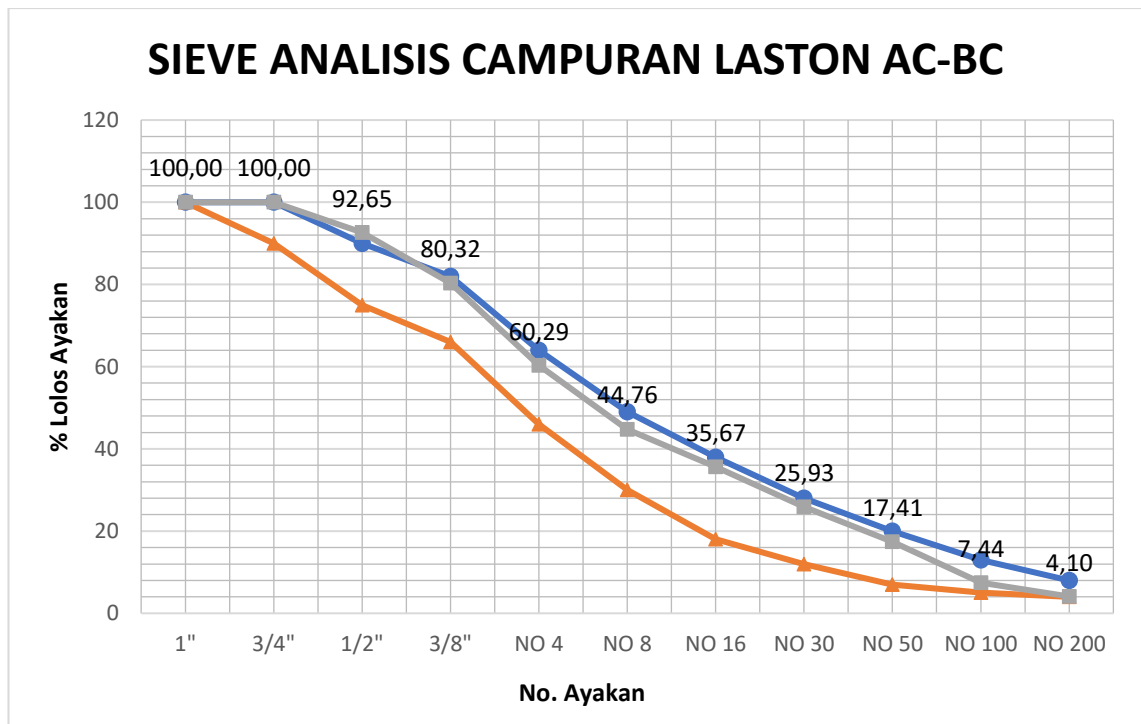
Spesifikasi campuran yang digunakan yaitu Bina Marga 2018 divisi 6 ,untuk mencapai resep spesifikasi maka peneliti mencoba sebuah komposisi campuran dengan menggabungkan material agregat kasar, agregat halus serta filler menjadi campuran homogen dan mempunyai susunan butir yang diharapkan mampu memenuhi standart spesifikasi yang disyaratkan. Fraksi agregat yang ditentukan dari 4 fraksi tersebut masing – masing akan dibagi menjadi 2 bagian untuk proses grading / ayakan yang mana akan memiliki berat yang berbeda lalu akan di rata-rata dari berat kumulatif persen agregat yang lolos. Untuk mendapatkan gradasi gabungan yang memenuhi standar Bina Marga 2018 divisi 6 maka diperlukan trial and error, yang mana hasil dari gradasi gabungan diharapkan mampu memenuhi atau tidak melebihi dari batas pada kisaran nilai kurva yang telah disyaratkan oleh Bina Marga 2018.

Menentukan proporsi agregat kasar, sedang dan halus, maka digunakan jarak yang sama dari kurva ke luar gradasi agregat, kemudian dilihat ke nomer saringan terdekat. Hasil garis perpotongan kurva luar dari saringan no 1” sampai no ½” untuk agregat kasar hingga sedang dan no.3/8 sampai no 200 untuk agregat halus. Perincian akhir persentase gradasi masing-masing komponen agregat setelah dilakukan trial and error adalah seperti pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.1

Tabel 4. 8 Gradasi Gabungan.

SIEVE SIZE		Hot Bin I	Hot Bin II	Hot Bin III	FILLER	JUMLAH	SPEK	
							BB	BA
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90	100
1/2"	12,5	54,64	96,46	100,00	100,00	92,65	75	90
3/8"	9,5	20,20	77,30	100,00	100,00	80,32	66	82
NO 4	4,75	0,74	40,36	94,41	100,00	60,29	46	64
NO 8	2,36	0,50	11,38	85,79	100,00	44,76	30	49
NO 16	1,18			75,40	100,00	35,67	18	38
NO 30	0,600			52,21	100,00	25,93	12	28
NO 50	0,300			31,94	100,00	17,41	7	20
NO 100	0,150			8,18	100,00	7,44	5	13
NO 200	0,075			0,24	100,00	4,10	4	8
A.	HOT BIN I						13,0	%
B.	HOT BIN II						41,0	%
C.	HOT BIN III						42,0	%
D.	Filler						4,0	%
TOTAL							100,0	%

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Gabungan.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa gradasi gabungan telah memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2018 divisi 6 perkerasan aspal, dengan hasil perhitungan grading dan gradasi gabungan diatas diperoleh presentase agregat dari masing-masing variasi yang mana untuk gradasi gabungan terdiri dari agregat kasar (10-15 mm) 13%, agregat Medium (5-10 mm) 41%, agregat halus (0-5 mm) 42%, dan Filler Abu Batu 4%. Tidak ada nilai gradasi gabungan yang kurang dari batas minimum atau melebihi batas maksimum. Setelah mendapatkan presentase komposisi agregat, hal yang selanjutnya dikerjakan peneliti adalah menentukan berat total rencana 1260 gram. Agregat dengan presentase masing-masing yang telah di dapat kemudian dikalikan dengan berat satu mould tersebut untuk dapat membuat satu benda uji dengan kadar yang telah ditentukan peneliti.

4.4 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Rumus yang digunakan untuk menentukan kadar aspal rencana dengan acuan Asphalt Institute adalah sebagai berikut :

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

Dimana:

P_b = Kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran
 CA = Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan no. 8
 FA = Agregat halus, persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200
 FF = Agregat lolos ayakan no. 200
 K = Konstanta (nilai K sekita 0,5 sampai 1,0 untuk AC dan 2,0 – 3,0 untuk HRS).
 $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$
 $= 0,035(93,96\%) + 0,045(37,96\%) + 0,18(4,23\%) + 1$
 $= 3,29\% + 1,71\% + 0,76\% + 1$
 $= 6,76\%$ dibulatkan menjadi 7%

Setelah didapatkan nilai P_b dari beberapa variasi, hasil yang diperoleh kadar aspal rencana yang akan digunakan ($P_b = 7,0\%$). Pada penelitian ini, untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) maka untuk Gradasi Gabungan dibuat di buat variasi dengan 5 kadar aspal dengan jumlah benda uji 30, benda uji masing-masing kadar 6 benda uji. Variasi kadar yang digunakan adalah ($P_b - 1,0\%$), ($P_b - 0,5\%$), (P_b), ($P_b + 0,5\%$), dan ($P_b + 1,0\%$), dijelaskan pada Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4. 9 Pembuatan Benda Uji Laston AC-BC.

Perkiraan Kadar Aspal	Gradasi Batas Tengah	Keterangan
6,0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi AC-BC + Limbah <i>Recycle</i> + <i>Filler</i> abu batu
6,5%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi AC-BC + limbah <i>Recycle</i> + <i>Filler</i> abu batu
7,0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi AC-BC + Limbah <i>Recycle</i> + <i>Filler</i> abu batu
7,5%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi AC-BC + Limbah <i>Recycle</i> + <i>Filler</i> abu batu
8,0%	5 buah	Campuran agregat dengan spesifikasi AC-BC + Limbah <i>Recycle</i> + <i>Filler</i> abu batu
Jumlah	25 buah	

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

4.5 Pembuatan Benda Uji AC-BC (Asphalt Concrete- Binder Course).

Pembuatan 1 benda uji maka digunakan presentase jumlah masing-masing agregat dari hasil analisa gradasi gabungan pada masing-masing variasi, sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Proporsi Agregat Benda Uji.

Perkiraan Berat Isian Mould Standar 1260							
KOMPOSISI CAMPURAN		KOMPOSISI AGGREGAT					
KADAR ASPAL RENCANA		%	6	6,5	7	7,5	8
a	HOT BIN I	13%	154,0	153,2	152,3	151,5	150,7
b	HOT BIN II	41%	485,6	483,0	480,4	477,9	475,3
c	HOT BIN III	42%	497,4	494,8	492,2	489,5	486,9
d	Filler	4%	47,4	47,1	46,9	46,6	46,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1184,4	1178,1	1171,8	1165,5	1159,2
BERAT ASPAL (gr)			75,6	81,9	88,2	94,5	100,8
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (gr)			1260,0	1260,0	1260,0	1260,0	1260,0

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Berat presentase agregat gradasi gabungan di siapkan sampai memenuhi berat campuran yang ditentukan, pada gradasi gabungan dilakukan metode yang berdeda dari mulai proses pencampuran agregat dimana terlebih dahulu agregat kasar (10–15 mm) dimasukkan dalam penggorengan yang sudah dipanaskan, digoreng durasi waktu ± 15 menit. Kemudian barulah agregat lainnya dimasukkan kedalam penggorengan dengan suhu konstan, diaduk sampai agregat campuran benar-benar homogen dan mengering. Campuran agregat hasil penggorengan di timbang kembali dan dimasukkan perkiraan kadar aspal sesuai pada Tabel 4.10. Kadar aspal yang dimasukkan diambil dari berat campuran agregat hasil penggorengan, pencampuran kadar aspal dan agregat diaduk sampai benar-benar homogen, pada proses ini penimbangan agregat dijelaskan pada Tabel 4.10. Kemudian campuran yang sudah jadi dipanaskan kembali ke dalam oven dengan suhu 150°C dengan durasi ± 1 jam, setelah itu campuran hasil oven di tumbuk dengan alat *Marshall manual compactor* dengan jumlah tumbukan 75 per bidang. Hal tersebut dilakukan berulang-ulang sampai memenuhi jumlah benda uji yang direncanakan sesuai pada Tabel 4.10.

Dari perhitungan proporsi campuran AC-BC normal di atas, peneliti melakukan perhitungan proporsi campuran AC-BC dengan variasi 25 %, 50, % dan 75 % (Limbah *Recycle*).

Tabel 4. 11 Proposi Campuran Variasi 25%

Perkiraan Berat Isian Mould Standar 1260							
KOMPOSISI CAMPURAN		KOMPOSISI AGGREGAT	25%				
KADAR ASPAL RENCANA		%	6	6,5	7	7,5	8
a	HOT BIN I	13%	154,0	153,2	152,3	151,5	150,7
b	HOT BIN II	41%	485,6	483,0	480,4	477,9	475,3
c	HOT BIN III	42%	497,4	494,8	492,2	489,5	486,9
d	Filler	4%	47,4	47,1	46,9	46,6	46,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1184,4	1178,1	1171,8	1165,5	1159,2
BERAT ASPAL (gr)			75,6	81,9	88,2	94,5	100,8
BERAT RECYCLE			38,49	38,29	38,08	37,88	37,67
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (gr)			1260,0	1260,0	1260,0	1260,0	1260,0

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 12 Proposi Campuran Variasi 50%

Perkiraan Berat Isian Mould Standar			1260				
KOMPOSISI CAMPURAN		KOMPOSISI AGGREGAT	50%				
KADAR ASPAL RENCANA		%	6	6,5	7	7,5	8
a	HOT BIN I	13%	154,0	153,2	152,3	151,5	150,7
b	HOT BIN II	41%	485,6	483,0	480,4	477,9	475,3
c	HOT BIN III	42%	497,4	494,8	492,2	489,5	486,9
d	Filler	4%	47,4	47,1	46,9	46,6	46,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1184,4	1178,1	1171,8	1165,5	1159,2
BERAT ASPAL (gr)			75,6	81,9	88,2	94,5	100,8
BERAT RECYCLE			76,99	76,58	76,17	75,76	75,35
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (gr)			1260,0	1260,0	1260,0	1260,0	1260,0

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 13 Proposi Campuran Variasi 75%

Perkiraan Berat Isian Mould Standar 1260							
KOMPOSISI CAMPURAN		KOMPOSISI AGGREGAT	75%				
KADAR ASPAL RENCANA		%	6	6,5	7	7,5	8
a	HOT BIN I	13%	154,0	153,2	152,3	151,5	150,7
b	HOT BIN II	41%	485,6	483,0	480,4	477,9	475,3
c	HOT BIN III	42%	497,4	494,8	492,2	489,5	486,9
d	Filler	4%	47,4	47,1	46,9	46,6	46,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (gr)			1184,4	1178,1	1171,8	1165,5	1159,2
BERAT ASPAL (gr)			75,6	81,9	88,2	94,5	100,8
BERAT RECYCLE			115,5	114,9	114,3	113,6	113,0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (gr)			1260,0	1260,0	1260,0	1260,0	1260,0

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

4.6 Uji Marshall Kadar Aspal Variasi AC-BC

Hal-hal yang perlu ditinjau untuk mengetahui kinerja dari benda uji aspal diantaranya adalah nilai stabilitas, kelelehan (flow), V.I.M , V.M.A , MQ (Marshall Quotient), dan permeabilitas. Hasil tersebut dapat dilihat di tabel 4.14 dan untuk lebih detailnya ada pada lampiran.

Tabel 4. 14 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan Normal

cc	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
6%	i	73.07	72.55	72.70	101.70	101.56	101.05	72.77	101.44	73.14	1234	691	1236	1.92	87
	ii	72.30	71.20	71.19	101.89	100.60	101.81	71.56	101.43	72.16	1243	694	1244	1.74	93
	iii	71.45	72.31	71.77	101.37	101.29	101.60	71.84	101.42	72.39	1242	692	1245	1.87	97
	iv	73.21	73.10	73.08	100.81	100.45	101.02	73.13	100.76	73.42	1235	688	1237	1.24	96
	v	72.35	72.87	73.08	101.59	101.23	101.80	72.77	101.54	73.13	1244	689	1245	1.44	98
6.5%	i	71.19	71.20	70.00	100.83	100.97	101.51	70.80	101.10	71.54	1213	688	1216	2.24	122
	ii	70.43	71.02	70.42	100.62	100.31	101.04	70.63	100.66	71.40	1236	693	1238	2.43	128
	iii	71.41	72.00	71.40	104.41	103.38	103.35	71.61	103.71	72.19	1234	691	1238	2.22	118
	iv	68.41	69.48	69.43	101.52	101.81	101.98	69.11	101.77	70.18	1241	698	1242	2.66	117
	v	70.43	70.26	67.55	101.89	100.60	101.81	69.41	101.43	70.43	1234	689	1237	2.04	112
7%	i	71.57	69.67	70.70	101.76	101.76	101.56	70.65	101.69	71.42	1240	697	1242	2.64	119
	ii	71.07	71.06	71.15	103.76	103.73	104.13	71.09	103.87	71.78	1238	695	1241	2.92	121
	iii	70.52	71.18	70.53	102.02	102.12	102.09	70.74	102.08	71.50	1238	698	1240	2.88	122
	iv	71.09	71.75	71.10	102.06	102.16	102.04	71.31	102.09	71.96	1237	695	1240	2.94	126
	v	71.66	72.32	71.67	102.11	102.08	102.05	71.88	102.08	72.42	1241	698	1243	2.78	118
7.5%	i	69.50	70.93	71.20	101.96	101.72	101.20	70.54	101.63	71.34	1236	693	1237	2.11	122
	ii	69.08	68.09	70.89	101.49	101.55	101.49	69.35	101.51	70.38	1237	694	1240	2.20	113
	iii	67.99	66.80	68.01	102.06	102.12	102.06	67.60	102.08	68.96	1235	692	1237	2.14	108
	iv	69.20	68.01	69.22	102.63	102.69	102.63	68.81	102.65	69.94	1241	698	1242	2.16	110
	v	70.41	69.22	70.43	104.08	102.13	102.01	70.02	102.74	70.92	1239	696	1241	2.24	118
8%	i	70.67	69.15	70.59	101.74	100.67	100.60	70.14	101.00	71.01	1243	700	1245	1.89	86
	ii	69.46	70.16	68.91	103.12	102.06	102.03	69.51	102.40	70.50	1238	695	1241	1.78	75
	iii	70.24	70.94	69.69	102.45	101.42	101.39	70.29	101.75	71.13	1246	703	1248	1.86	77
	iv	68.14	65.75	67.99	103.43	102.40	102.37	67.29	102.73	68.72	1247	704	1249	1.80	82
	v	70.39	70.18	68.78	104.41	103.38	103.35	69.78	103.71	70.72	1243	700	1246	1.68	79

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 15 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 25%

cc	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
6%	i	61.81	62.44	62.87	101.68	102.56	102.05	62.37	102.10	102.22	1242	627	1249	1.25	187
	ii	50.44	52.63	61.24	101.98	101.93	101.86	54.77	101.92	102.25	1248	512	1249	1.74	93
	iii	71.63	73.35	70.83	102.46	101.92	102.34	71.94	102.24	102.18	1255	708	1257	1.87	97
	iv	68.77	69.76	68.53	100.38	101.06	100.51	69.02	100.65	102.19	1244	697	1250	1.24	96
	v	71.34	70.14	71.68	101.76	101.84	102.04	71.05	101.88	102.18	1260	707	1261	1.44	98
6.5%	i	67.74	73.51	68.20	102.20	102.36	102.18	69.82	102.25	102.19	1231	694	1234	0.47	268
	ii	71.95	71.21	72.04	102.15	102.43	101.80	71.73	102.13	102.18	1263	683	1264	0.72	276
	iii	71.84	72.72	73.48	102.30	102.43	102.60	72.68	102.44	102.18	1226	684	1228	2.55	227
	iv	72.12	69.92	70.73	102.96	101.96	102.46	70.92	102.46	102.18	1255	696	1256	0.38	290
	v	71.41	69.92	70.73	102.44	101.92	101.95	70.69	102.10	102.18	1260	686	1266	1.86	240
7%	i	73.53	69.84	68.35	101.03	101.04	102.33	70.57	101.47	102.18	1113	621	1114	1.79	245
	ii	69.81	74.04	71.28	101.88	102.30	101.60	71.71	101.93	102.18	908	514	910	1.29	297
	iii	69.47	69.57	70.06	101.50	101.01	102.07	69.70	101.53	102.19	1270	701	1273	2.88	198
	iv	70.51	72.22	71.15	102.45	102.45	101.90	71.29	102.27	102.18	1242	699	1243	2.82	183
	v	71.22	68.54	70.08	102.16	101.25	101.72	69.95	101.71	102.19	1258	706	1260	1.59	191
7.5%	i	68.35	69.85	70.27	102.43	102.14	102.40	69.49	102.32	102.19	1244	683	1246	1.60	164
	ii	70.35	70.34	69.30	102.22	101.98	102.07	70.00	102.09	102.19	1241	704	1243	2.20	202
	iii	70.53	69.92	69.10	102.27	102.37	102.15	69.85	102.26	102.19	1251	680	1252	0.90	227
	iv	69.51	70.07	69.40	101.88	102.11	101.73	69.66	101.91	102.19	1252	700	1254	2.16	110
	v	70.41	69.22	70.43	102.08	102.13	102.01	70.02	102.07	102.19	1239	710	1240	2.24	118
8%	i	73.51	75.33	72.73	102.21	102.33	102.18	73.86	102.24	102.17	1304	715	1306	1.89	86
	ii	73.36	72.65	73.88	102.12	102.34	102.18	73.30	102.21	102.17	1304	725	1305	1.78	75
	iii	74.50	75.87	72.40	102.18	102.40	102.04	74.26	102.21	102.17	1308	721	1309	1.86	77
	iv	74.20	74.15	73.68	102.00	101.81	101.98	73.92	101.93	102.17	1328	734	1329	1.80	82
	v	74.49	74.34	74.08	102.16	102.36	102.15	74.30	102.22	102.17	1322	733	1323	1.68	79

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 16 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 50%

cc	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
6%	i	71.74	70.03	68.67	101.97	102.37	101.87	70.15	102.07	71.02	1184	652	1195	1.95	294
	ii	70.18	69.80	71.31	102.03	102.13	101.99	70.43	102.05	71.25	1198	662	1204	1.34	263
	iii	68.06	68.36	68.77	102.25	102.19	102.18	68.40	102.21	69.61	1196	666	1198	1.87	296
	iv	68.01	69.94	72.33	102.12	102.10	102.20	70.09	102.14	70.97	1205	666	1206	1.82	260
	v	68.03	62.74	67.15	102.67	103.02	102.16	65.97	102.62	67.65	1191	661	1196	0.51	161
6.5%	i	67.78	68.68	68.16	102.29	102.04	102.34	68.21	102.22	69.45	1214	677	1216	1.23	287
	ii	68.58	70.10	70.70	102.26	101.85	102.33	69.79	102.15	70.73	1232	684	1233	1.76	247
	iii	66.85	69.21	69.11	102.10	101.88	102.13	68.39	102.04	69.60	1205	674	1206	2.22	214
	iv	69.28	69.36	67.66	102.49	101.90	101.99	68.77	102.13	69.90	1205	671	1208	2.66	250
	v	68.73	69.46	69.09	102.59	102.03	102.14	69.09	102.25	70.17	1214	677	1217	1.18	274
7%	i	70.30	67.97	68.18	102.75	102.26	101.82	68.82	102.28	69.95	1213	675	1215	2.64	198
	ii	69.79	67.50	69.25	102.11	102.09	102.33	68.85	102.18	69.97	1223	684	1224	1.40	204
	iii	72.37	73.10	74.30	103.05	102.92	103.02	73.26	103.00	73.52	1302	722	1304	1.64	202
	iv	62.57	61.65	60.93	102.05	101.77	102.37	61.72	102.06	64.22	1117	633	1119	1.97	158
	v	69.28	66.23	67.95	103.37	102.23	102.34	67.82	102.65	69.14	1199	667	1201	2.20	182
7.5%	i	67.06	69.15	71.25	102.40	102.22	102.35	69.15	102.32	70.22	1196	666	1198	1.30	152
	ii	70.12	69.11	69.96	102.25	102.24	102.62	69.73	102.37	70.68	1258	708	1254	2.69	170
	iii	70.93	71.28	68.66	102.62	101.89	102.18	70.29	102.23	71.13	1236	688	1237	2.14	157
	iv	66.61	67.56	70.10	102.63	102.23	102.13	68.09	102.33	69.36	1209	674	1210	1.95	212
	v	68.98	67.95	70.62	102.30	102.02	102.26	69.18	102.19	70.24	1234	688	1236	2.30	160
8%	i	73.79	75.78	73.16	102.79	102.47	102.72	74.24	102.66	74.32	1309	722	1310	1.60	148
	ii	73.05	71.51	74.43	102.99	102.55	102.67	73.00	102.74	73.32	1293	717	1244	0.92	203
	iii	75.55	74.03	72.51	102.39	102.65	102.85	74.03	102.63	74.15	1295	723	1296	1.58	232
	iv	78.52	79.10	80.15	102.78	102.65	102.73	79.26	102.72	78.36	1406	784	1407	1.61	203
	v	72.39	72.32	72.58	102.09	102.38	102.42	72.43	102.30	72.86	1299	719	1300	2.16	220

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 17 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal Gradasi Gabungan 75%

cc	KODE BENDA UJI	TINGGI			DIAMETER			RATA-RATA		faktor koreksi stabilitas	BERAT KERING	BERAT DALAM AIR	BERAT SSD	flow	stabilitas
		sisi 1	sisi 2	sisi 3	sisi 1	sisi 2	sisi 3	tinggi	diameter						
6%	i	70.15	71.34	70.03	102.15	102.47	102.39	70.51	102.34	70.19	1231	683	1235	2.25	282
	ii	71.09	70.85	71.03	102.35	102.17	102.25	70.99	102.26	70.75	1244	683	1246	1.76	198
	iii	69.18	71.06	69.72	102.28	102.13	102.44	69.99	102.28	69.57	1228	677	1234	0.78	228
	iv	72.21	71.07	70.88	102.26	102.26	102.03	71.39	102.18	71.22	1232	689	1251	1.40	187
	v	70.71	70.43	71.47	102.07	102.08	102.54	70.87	102.23	70.61	1232	677	1237	2.12	216
6.5%	i	69.56	70.57	74.10	102.18	102.16	102.48	71.41	102.27	71.25	1229	675	1234	1.28	206
	ii	70.08	69.71	71.04	102.17	102.15	102.55	70.28	102.29	69.92	1239	680	1240	2.04	184
	iii	72.32	69.10	71.08	102.30	102.63	102.24	70.83	102.39	70.57	1231	676	1235	1.56	148
	iv	68.89	70.05	69.99	102.32	102.18	102.34	69.64	102.28	69.17	1234	683	1236	1.96	182
	v	69.61	68.69	67.77	101.63	102.45	101.96	68.69	102.01	68.05	1225	674	1228	2.41	272
7%	i	70.01	72.43	70.66	102.02	102.22	102.12	71.03	102.12	70.80	1266	641	1267	1.53	264
	ii	67.80	69.78	70.05	102.12	102.02	101.61	69.21	101.92	68.66	1221	624	1222	1.97	230
	iii	69.44	69.35	69.63	102.13	101.96	101.97	69.47	102.02	68.97	1238	686	1239	1.08	210
	iv	64.15	64.83	66.99	102.30	102.32	102.28	65.32	102.30	64.10	1144	677	1146	1.94	204
	v	69.56	69.39	71.36	102.18	102.17	102.03	70.10	102.13	69.71	1249	699	1250	1.88	128
7.5%	i	69.40	72.10	73.33	102.43	102.35	102.15	71.61	102.31	71.48	1234	630	1237	1.59	68
	ii	71.64	70.36	72.03	102.14	102.50	102.38	71.34	102.34	71.17	1234	673	1236	2.63	128
	iii	70.05	72.40	74.29	102.23	102.32	102.30	72.25	102.28	72.23	1261	689	1162	1.98	132
	iv	68.92	69.55	69.59	102.18	102.13	102.35	69.35	102.22	68.83	1224	668	1225	1.83	108
	v	66.06	66.32	66.52	101.64	102.54	101.88	66.30	102.02	65.25	1159	669	1160	1.73	102
8%	i	74.96	74.80	73.89	102.08	102.03	101.96	74.55	102.02	74.93	1328	720	1329	1.87	150
	ii	75.05	74.63	73.46	102.13	102.27	102.03	74.38	102.14	74.73	1299	729	1301	2.20	157
	iii	72.59	74.17	77.55	102.34	102.07	102.33	74.77	102.25	75.19	1301	715	1303	1.95	155
	iv	74.69	75.77	75.11	102.26	102.19	102.22	75.19	102.22	75.68	1326	710	1327	2.08	130
	v	74.81	77.43	79.41	102.00	102.13	102.18	77.22	102.10	78.06	1319	739	1324	0.89	147

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 18 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEND A UJI	BJ BULK CAMPUR AN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPUR AN	RONGG A YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAP AN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURA N)	STABILITAS (KG)		KELELEH AN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSIT Y
		DI UDAR A	DALA MAIR	KERING PERMUKA AN				KADAR ASPAL EFEKTI F	AGREG AT	RONG A UDAR A (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKA N			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPUR AN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
6	73.14	1234	691	1236	545	2.26		13.07	81.38	6.65	18.62		64.30		87	967.14	1.92	503.7	2.26
	72.16	1243	694	1244	550	2.26		13.05	81.23	6.82	18.77		63.66		93	1020.05	1.74	586.2	2.26
	72.39	1242	692	1245	553	2.25		12.97	80.72	7.40	19.28		61.60		97	1067.25	1.87	570.7	2.25
	73.42	1235	688	1237	549	2.25		12.99	80.85	7.25	19.15		62.12		96	1071.38	1.24	864.0	2.25
	73.13	1244	689	1245	556	2.24		12.92	80.42	7.75	19.58		60.41		98	1089.34	1.44	756.5	2.24
			rata-rata		550.6	2.25	2.43	13.00	80.92	7.17	19.08	5.99	62.42	0.01	94.20	1043.0	1.64	656.2	2.25
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13		%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMPURAN			2.25	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41		%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			7.17	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42		%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1043.03	kg	D :	filler		2.59		2.59	4		%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.64	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 19 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
6.5	71.54	1213	688	1216	528	2.30		14.37	82.13	4.61	17.87		74.21		122	1326.7	2.24	592.3	2.30
	71.40	1236	693	1238	545	2.27		14.18	81.08	5.83	18.92		69.18		128	1389.2	2.43	571.7	2.27
	72.19	1234	691	1238	547	2.26		14.11	80.65	6.33	19.35		67.29		118	1294.9	2.22	583.3	2.26
	70.18	1241	698	1242	544	2.28		14.27	81.56	5.28	18.44		71.39		117	1248.1	2.66	469.2	2.28
	70.43	1234	689	1237	548	2.25		14.08	80.51	6.50	19.49		66.66		112	1198.9	2.04	587.7	2.25
			rata-rata		542.4	2.27	2.41	14.20	81.19	5.71	18.81	6.49	69.75	0.01	119.40	1291.6	2.32	560.83	2.27
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.27	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			5.71	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1291.55	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			2.32	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 20 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
7	71.42	1240	697	1242	545	2.28		15.32	80.91	4.86	19.09		74.54		119	1291.86	2.64	489.3	2.28
	71.78	1238	695	1241	546	2.27		15.27	80.63	5.19	19.37		73.22		121	1320.19	2.92	452.1	2.27
	71.50	1238	698	1240	542	2.28		15.38	81.22	4.49	18.78		76.10		122	1325.89	2.88	460.4	2.28
	71.96	1237	695	1240	545	2.27		15.29	80.71	5.09	19.29		73.61		126	1378.16	2.94	468.8	2.27
	72.42	1241	698	1243	545	2.28		15.34	80.97	4.78	19.03		74.86		118	1298.90	2.78	467.2	2.28
				rata-rata		544.6	2.27	2.39	15.32	80.89	4.88	19.11	6.99	74.47	0.01	121.20	1323.00	2.83	467.57
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT		(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.27	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			4.88	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1323.00	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			2.83	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 21 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
7.5	71.34	1236	693	1237	544	2.27		16.40	80.36	4.33	19.64		77.97		122	1322.88	2.11	627.0	2.27
	70.38	1237	694	1240	546	2.27		16.35	80.13	4.60	19.87		76.85		113	1208.81	2.20	549.5	2.27
	68.96	1235	692	1237	545	2.27		16.35	80.15	4.58	19.85		76.93		108	1132.12	2.14	529.0	2.27
	69.94	1241	698	1242	544	2.28		16.46	80.69	3.94	19.31		79.60		110	1169.39	2.16	541.4	2.28
	70.92	1239	696	1241	545	2.27		16.41	80.41	4.27	19.59		78.20		118	1271.94	2.24	567.8	2.27
				rata-rata		544.8	2.27	2.37	16.39	80.35	4.34	19.65	7.49	77.91	0.01	114.20	1221.03	2.17	562.93
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.27	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			4.34	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1221.03	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			2.17	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 22 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (Normal)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
8	71.01	1243	700	1245	545	2.28		17.56	80.23	3.29	19.77		83.34		86	928.24	1.89	491.1	2.28
	70.50	1238	695	1241	546	2.27		17.45	79.76	3.86	20.24		80.93		75	803.75	1.78	451.5	2.27
	71.13	1246	703	1248	545	2.29		17.60	80.42	3.06	19.58		84.37		77	832.54	1.86	447.6	2.29
	68.72	1247	704	1249	545	2.29		17.61	80.49	2.98	19.51		84.71		82	856.49	1.80	475.8	2.29
	70.72	1243	700	1246	546	2.28		17.52	80.08	3.47	19.92		82.57		79	849.26	1.68	505.5	2.28
				rata-rata		545.4	2.28	2.36	17.55	80.20	3.33	19.80	7.99	83.18	0.01	79.80	854.05	1.80	474.32
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			8	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.28	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			3.33	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			854.05	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.80	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 23 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (25 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	100 - K	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
6	62.37	1242	627	1249	622	2.00		11.53	71.77	17.67	28.23		37.40		187	1772.90	1.25	1418.3	2.00
	54.77	1248	512	1249	737	1.69		9.78	60.86	30.18	39.14		22.88		93	774.23	1.74	445.0	1.69
	71.94	1255	708	1257	549	2.29		13.20	82.16	5.75	17.84		67.76		97	1060.63	1.87	567.2	2.29
	69.02	1244	697	1250	553	2.25		12.99	80.85	7.25	19.15		62.12		96	1007.14	1.24	812.2	2.25
	71.05	1260	707	1261	554	2.27		13.13	81.75	6.23	18.25		65.88		98	1058.41	1.44	735.0	2.27
			rata-rata		603	2.10	2.43	12.12	75.48	13.42	24.52	5.99	51.21	0.01	114.20	1134.7	1.51	795.5	2.10
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59		13	%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMPURAN			2.10	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60		41	%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			13.42	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85		42	%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1134.66	kg	D :	filler		2.59		2.59		4	%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.51	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 24 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (25 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
6.5	69.82	1231	694	1234	540	2.28		14.25	81.50	5.34	18.50		71.11		268	2844.1	0.47	6051.2	2.28
	71.73	1263	683	1264	581	2.17		13.59	77.72	9.74	22.28		56.30		276	3009.4	0.72	4179.7	2.17
	72.68	1226	684	1228	544	2.25		14.09	80.57	6.42	19.43		66.95		227	2507.8	2.55	983.4	2.25
	70.92	1255	696	1256	560	2.24		14.01	80.12	6.95	19.88		65.06		290	3126.3	0.38	8227.1	2.24
	70.69	1260	686	1266	580	2.17		13.58	77.67	9.80	22.33		56.14		240	2578.6	1.86	1386.4	2.17
				rata-rata		561	2.22	2.41	13.91	79.52	7.65	20.48	6.49	63.11	0.01	260.20	2813.2	1.20	4165.55
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.22	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			7.65	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2813.22	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.20	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 25 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (25 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
7	70.57	1113	621	1114	493	2.26		15.20	80.28	5.60	19.72		71.62		245	2628.15	1.79	1468.2	2.26
	71.71	908	514	910	396	2.29		15.44	81.54	4.12	18.46		77.68		297	3237.28	1.29	2509.5	2.29
	69.70	1270	701	1273	572	2.22		14.95	78.95	7.16	21.05		65.99		198	2097.69	2.88	728.4	2.22
	71.29	1242	699	1243	544	2.28		15.38	81.19	4.53	18.81		75.91		183	1983.10	2.82	703.2	2.28
	69.95	1258	706	1260	554	2.27		15.29	80.75	5.05	19.25		73.78		191	2030.69	1.59	1277.2	2.27
			rata-rata		511.8	2.26	2.39	15.25	80.54	5.29	19.46	6.99	73.00	0.01	222.80	2395.38	2.07	1337.30	2.26
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.26	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			5.29	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2395.38	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			2.07	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 26 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (25 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
7.5	69.49	1244	683	1246	563	2.21		15.95	78.15	6.96	21.85		68.16		164	1732.25	1.60	1082.7	2.21
	70.00	1241	704	1243	539	2.30		16.61	81.43	3.05	18.57		83.58		202	2149.18	2.20	976.9	2.30
	69.85	1251	680	1252	572	2.19		15.78	77.35	7.91	22.65		65.09		227	2410.10	0.90	2677.9	2.19
	69.66	1252	700	1254	554	2.26		16.31	79.93	4.84	20.07		75.89		110	1164.72	2.16	539.2	2.26
	70.02	1239	710	1240	530	2.34		16.87	82.68	1.56	17.32		90.98		118	1255.88	2.24	560.7	2.34
				rata-rata		551.6	2.26	2.37	16.30	79.91	4.86	20.09	7.49	76.74	0.01	164.20	1742.42	1.82	1167.47
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.26	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			4.86	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1742.42	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.82	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 27 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (25 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
8	73.86	1304	715	1306	591	2.21		16.98	77.62	6.44	22.38		71.21		86	965.45	1.89	510.8	2.21
	73.30	1304	725	1305	580	2.25		17.31	79.09	4.67	20.91		77.67		75	835.58	1.78	469.4	2.25
	74.26	1308	721	1309	588	2.22		17.12	78.25	5.68	21.75		73.89		77	869.10	1.86	467.3	2.22
	73.92	1328	734	1329	595	2.23		17.18	78.51	5.36	21.49		75.04		82	921.28	1.80	511.8	2.23
	74.30	1322	733	1323	590	2.24		17.25	78.82	4.99	21.18		76.43		79	892.23	1.68	531.1	2.24
				rata-rata		588.8	2.23	2.36	17.17	78.46	5.43	21.54	7.99	74.85	0.01	79.80	896.73	1.80	498.08
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			8	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.23	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			5.43	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			896.73	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.80	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 28 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (50 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS	
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y	
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$	
6	70.15	1184	652	1195	543	2.18		12.59	78.37	10.10	21.63		53.30		294	3134.71	1.95	1607.5	2.18	
	70.43	1198	662	1204	542	2.21		12.76	79.44	8.87	20.56		56.85		263	2815.51	1.34	2101.1	2.21	
	68.40	1196	666	1198	532	2.25		12.98	80.80	7.31	19.20		61.92		296	3077.30	1.87	1645.6	2.25	
	70.09	1205	666	1206	540	2.23		12.88	80.21	8.00	19.79		59.60		260	2770.09	1.82	1522.0	2.23	
	65.97	1191	661	1196	535	2.23		12.85	80.01	8.22	19.99		58.89		161	1614.50	0.51	3165.7	2.23	
			rata-rata		538.4	2.22	2.43	12.81	79.77	8.50	20.23	5.99	58.11	0.01	254.80	2682.4	1.50	2008.4	2.22	
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13			%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMPURAN			2.22	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41			%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			8.50	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42			%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2682.42	kg	D :	filler		2.59		2.59	4			%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.50	mm										

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 29 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (50 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
6.5	69.82	1231	694	1234	540	2.28		14.25	81.50	5.34	18.50		71.11		268	2844.1	0.47	6051.2	2.28
	71.73	1263	683	1264	581	2.17		13.59	77.72	9.74	22.28		56.30		276	3009.4	0.72	4179.7	2.17
	72.68	1226	684	1228	544	2.25		14.09	80.57	6.42	19.43		66.95		227	2507.8	2.55	983.4	2.25
	70.92	1255	696	1256	560	2.24		14.01	80.12	6.95	19.88		65.06		290	3126.3	0.38	8227.1	2.24
	70.69	1260	686	1266	580	2.17		13.58	77.67	9.80	22.33		56.14		240	2578.6	1.86	1386.4	2.17
			rata-rata		561	2.22	2.41	13.91	79.52	7.65	20.48	6.49	63.11	0.01	260.20	2813.2	1.20	4165.55	2.22
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.22	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			7.65	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2813.22	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.20	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 30 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (50 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
7	68.82	1213	675	1215	540	2.25		15.13	79.88	6.07	20.12		69.83		198	2071.11	2.64	784.5	2.25
	68.85	1223	684	1224	540	2.26		15.25	80.54	5.30	19.46		72.79		204	2134.80	1.40	1524.9	2.26
	73.26	1302	722	1304	582	2.24		15.07	79.55	6.45	20.45		68.44		202	2249.27	1.64	1371.5	2.24
	61.72	1117	633	1119	486	2.30		15.48	81.73	3.89	18.27		78.69		158	1482.19	1.97	752.4	2.30
	67.82	1199	667	1201	534	2.25		15.12	79.84	6.11	20.16		69.68		182	1876.17	2.20	852.8	2.25
			rata-rata		536.4	2.26	2.39	15.21	80.31	5.56	19.69	6.99	71.89	0.01	188.80	1962.71	1.97	1057.21	2.26
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13		%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.26	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41		%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			5.56	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42		%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1962.71	kg	D :	Filler		2.59		2.59	4		%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.97	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 31 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (50 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS	
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y	
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)	
7.5	69.15	1196	666	1198	532	2.25		16.22	79.51	5.34	20.49		73.96		152	1597.72	1.30	1229.0	2.25	
	69.73	1258	708	1254	546	2.30		16.63	81.49	2.98	18.51		83.89		170	1801.82	2.69	669.8	2.30	
	70.29	1236	688	1237	549	2.25		16.25	79.63	5.20	20.37		74.48		157	1677.40	2.14	783.8	2.25	
	68.09	1209	674	1210	536	2.26		16.28	79.78	5.02	20.22		75.17		212	2194.13	1.95	1125.2	2.26	
	69.18	1234	688	1236	548	2.25		16.25	79.64	5.18	20.36		74.56		160	1682.54	2.30	731.5	2.25	
				rata-rata		542.2	2.26	2.37	16.32	80.01	4.74	19.99	7.49	76.41	0.01	170.20	1790.72	2.08	907.88	2.26
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7.5	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13			%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.26	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41			%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			4.74	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42			%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1790.72	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4			%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			2.08	mm										

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 32 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (50 %)

KADAR ASPAL	TING GI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEND A UJI	BJ BULK CAMPUR AN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPUR AN	RONGG A YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAP AN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURA N)	STABILITAS (KG)		KELELEH AN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSIT Y
		DI UDAR A	DALA MAIR	KERING PERMUKA AN				KADA R ASPAL EFEKTI F	AGREG AT	RONGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKA N			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPUR AN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
8	74.24	1309	722	1310	588	2.23		17.14	78.31	5.61	21.69		74.15		148	1670.18	1.60	1043.9	2.23
	73.00	1293	717	1244	527	2.45		18.89	86.31	-4.03	13.69		129.45		203	2252.39	0.92	2448.2	2.45
	74.03	1295	723	1296	573	2.26		17.40	79.50	4.17	20.50		79.65		232	2610.59	1.58	1652.3	2.26
	79.26	1406	784	1407	623	2.26		17.37	79.39	4.31	20.61		79.10		203	2445.54	1.61	1519.0	2.26
	72.43	1299	719	1300	581	2.24		17.21	78.65	5.20	21.35		75.65		220	2422.06	2.16	1121.3	2.24
				rata-rata		578.4	2.29	2.36	17.60	80.43	3.05	19.57	7.99	87.60	0.01	201.20	2280.15	1.57	1556.94
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			8	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.29	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			3.05	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2280.15	kg	D :	Filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.57	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 33 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6% (75 %)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KEKELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	$N \times G / T$	$(100-A) \times G/U$	$H-G \times 100/H$	$100 - K$	$A-(100-A \times Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
6	70.51	1231	683	1235	552	2.23		12.87	80.15	8.06	19.85		59.41		282	3022.20	2.25	1343.2	2.23
	70.99	1244	683	1246	563	2.21		12.76	79.42	8.90	20.58		56.76		198	2136.52	1.76	1213.9	2.21
	69.99	1228	677	1234	557	2.20		12.73	79.24	9.10	20.76		56.15		228	2425.46	0.78	3109.6	2.20
	71.39	1232	689	1251	562	2.19		12.66	78.79	9.62	21.21		54.65		187	2029.09	1.40	1449.4	2.19
	70.87	1232	677	1237	560	2.20		12.70	79.07	9.29	20.93		55.58		216	2326.80	2.12	1097.5	2.20
			rata-rata		558.8	2.21	2.43	12.74	79.34	8.99	20.66	5.99	56.51	0.01	222.20	2388.0	1.66	1642.7	2.21
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6	%	A :	HOT BIN I		2.52	2.59	13		%	
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMPURAN			2.21	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52	2.60	41		%	
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			8.99	%	C :	HOT BIN III		2.78	2.85	42		%	
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2388.01	kg	D :	filler		2.59	2.59	4		%	
BJ. SEMU				2.69		KEKELEHAN			1.66	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 34 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 6,5% (75%)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	C/(E-D)
6.5	71.41	1229	675	1234	559	2.20		13.75	78.60	8.71	21.40		59.30		206	2236.0	1.28	1746.9	2.20
	70.28	1239	680	1240	560	2.21		13.84	79.10	8.13	20.90		61.09		184	1965.5	2.04	963.5	2.21
	70.83	1231	676	1235	559	2.20		13.77	78.73	8.56	21.27		59.75		148	1593.5	1.56	1021.5	2.20
	69.64	1234	683	1236	553	2.23		13.95	79.78	7.34	20.22		63.68		182	1926.6	1.96	983.0	2.23
	68.69	1225	674	1228	554	2.21		13.83	79.05	8.19	20.95		60.92		272	2839.9	2.41	1178.4	2.21
			rata-rata		557	2.21	2.41	13.83	79.05	8.19	20.95	6.49	60.95	0.01	198.40	2112.3	1.85	1178.63	2.21
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			6.5	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13		%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.21	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41		%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			8.19	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42		%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2112.30	kg	D :	Filler		2.59		2.59	4		%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.85	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 35 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7% (75%)

KADAR ASPAL	TING GI BEND A UJI	BERAT (GRAM)			ISI BEND A UJI	BJ BULK CAMPUR AN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPUR AN	RONGG A YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAP AN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEH AN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSIT Y	
		DI UDAR A	DALA MAIR	KERING PERMUKA AN				KADA R ASPAL EFEKTI F	AGREG AT	RONGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKA N				
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y	
% BERAT TOTAL CAMPUR AN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$	
7	71.03	1266	641	1267	626	2.02		13.62	71.92	15.43	28.08		45.04		264	2850.43	1.53	1863.0	2.02	
	69.21	1221	624	1222	598	2.04		13.75	72.61	14.62	27.39		46.63		230	2419.58	1.97	1228.2	2.04	
	69.47	1238	686	1239	553	2.24		15.08	79.61	6.39	20.39		68.67		210	2217.59	1.08	2053.3	2.24	
	65.32	1144	677	1146	469	2.44		16.43	86.74	-2.00	13.26		115.06		204	2025.55	1.94	1044.1	2.44	
	70.10	1249	699	1250	551	2.27		15.27	80.61	5.21	19.39		73.12		128	1363.93	1.88	725.5	2.27	
			rata-rata		559.4	2.20	2.39	14.83	78.30	7.93	21.70	6.99	69.71	0.01	207.20	2175.41	1.68	1382.83	2.20	
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT			
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13			%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.20	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41			%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			7.93	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42			%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			2175.41	kg	D :	Filler		2.59		2.59	4			%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.68	mm										

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 36 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 7,5% (75%)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
7.5	71.61	1234	630	1237	607	2.03		14.67	71.90	14.40	28.10		48.76		68	740.16	1.59	465.5	2.03
	71.34	1234	673	1236	563	2.19		15.82	77.52	7.71	22.48		65.72		128	1388.06	2.63	527.8	2.19
	72.25	1261	689	1162	473	2.67		19.24	94.29	-12.26	5.71		314.79		132	1449.56	1.98	732.1	2.67
	69.35	1224	668	1225	557	2.20		15.86	77.72	7.47	22.28		66.48		108	1138.50	1.83	622.1	2.20
	66.30	1159	669	1160	491	2.36		17.03	83.49	0.60	16.51		96.34		102	1027.92	1.73	594.2	2.36
			rata-rata			538.2	2.29	2.37	16.52	80.99	3.58	19.01	7.49	118.42	0.01	107.60	1148.84	1.95	588.34
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			7.5	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13		%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.29	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41		%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			3.58	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42		%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1148.84	kg	D :	Filler		2.59		2.59	4		%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.95	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Tabel 4. 37 Marshall Test Perkiraan Kadar Aspal 8% (75%)

KADAR ASPAL	TINGGI BENDA UJI	BERAT (GRAM)			ISI BENDA UJI	BJ BULK CAMPURAN	BJ MAKSIMUM CAMPURAN	VOLUME TOTAL CAMPURAN			VMA %	KADAR ASPAL EFF TERHADAP CAMPURAN	RONGGA YANG TERISI ASPAL (VFA)	PENYERAPAN ASPAL (%BERAT DR JUMLAH CAMPURAN)	STABILITAS (KG)		KELELEHAN PLASTIS (MM)	HASIL BAGI MARSHAL (KG/MM)	DENSITAS
		DI UDARA	DALAM AIR	KERING PERMUKAAN				KADAR ASPAL EFEKTIF	AGREGAT	RONGGA UDARA (VIM)					DI BACA	DI SESUAIKAN			
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q		R	S	W	Y
% BERAT TOTAL CAMPURAN					E-D	C/F	$((100/(A/T)+(100-A)/V))$	NXG/T	$(100-A).G/U$	$H-G*100/H$	100-K	$A-(100-A*Q/100)$	$((M-L)/M)*100$	$(V-U/V.U)*T$				R/S	$C/(E-D)$
8	74.55	1328	720	1329	609	2.18		16.79	76.71	7.54	23.29		67.63		150	1699.74	1.87	909.0	2.18
	74.38	1299	729	1301	572	2.27		17.48	79.89	3.71	20.11		81.57		157	1775.00	2.20	806.8	2.27
	74.77	1301	715	1303	588	2.21		17.03	77.83	6.18	22.17		72.10		155	1761.58	1.95	903.4	2.21
	75.19	1326	710	1327	617	2.15		16.54	75.60	8.87	24.40		63.63		130	1485.75	2.08	714.3	2.15
	77.22	1319	739	1324	585	2.25		17.36	79.32	4.40	20.68		78.74		147	1725.33	0.89	1938.6	2.25
				rata-rata		594.2	2.21	2.36	17.04	77.87	6.14	22.13	7.99	72.73	0.01	147.80	1689.48	1.80	1054.40
KETERANGAN						HASIL TES					AGREGAT			(BJ BULK)		(BJ SEMU)	%BERAT TOTAL AGREGAT		
ANGKA PENETRASI ASPAL				60-70		ASPAL			8	%	A :	HOT BIN I		2.52		2.59	13		%
BJ. ASPAL (T)				1.04		BULK CAMP			2.21	gr/cc	B :	HOT BIN II		2.52		2.60	41		%
BJ. BULK (U)				2.62		RONGGA UDARA			6.14	%	C :	HOT BIN III		2.78		2.85	42		%
BJ. EFEKTIF (V)				2.65		STABILITAS			1689.48	kg	D :	Filler		2.59		2.59	4		%
BJ. SEMU				2.69		KELELEHAN			1.80	mm									

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

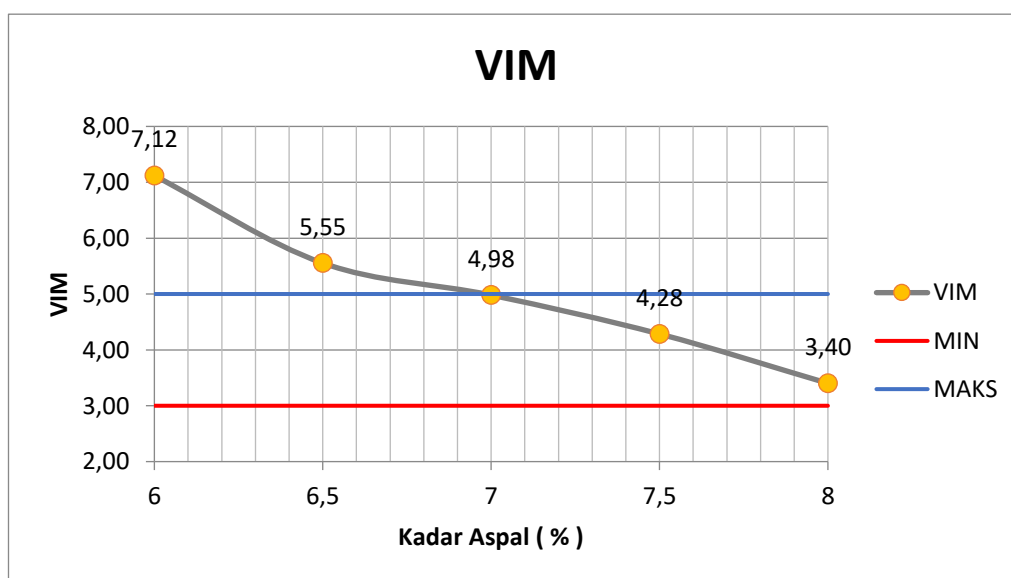
Tahap selanjutnya kita analisa hasil dari Marshall Test dari kedua variasi gradasi gabungan yaitu nilai stabilitas, kelelahan (flow), VIM , VMA , VFA dan MQ (Marshall Quotient). Grafik terhadap pengujian marshall akan dijelaskan dibawah ini :

4.6.1 Analisis Terhadap Nilai VIM

Tabel 4. 38 Analisis Terhadap Nilai VIM.

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
6.0	7,12	(3 – 5) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	<i>Tidak</i>
6.5	5,55		<i>Tidak</i>
7.0	4,98		<i>Memenuhi</i>
7.5	4,28		<i>Memenuhi</i>
8.0	3,40		<i>Memenuhi</i>

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 2 Grafik Analisis Nilai V.I.M.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

VIM atau *Void in Mix* merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal dipadatkan dan dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat. Akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Pada Grafik 4.2 menunjukkan hasil pengujian pada VIM sudah memenuhi spesifikasi pada penambahan kadar aspal 7.0%-8.0%. Pori udara yang ada setelah dicampurkan dengan aspal pada kadar tersebut mempunyai campuran yang baik dari segi kadar aspal serta gradasi agregat yang rapat

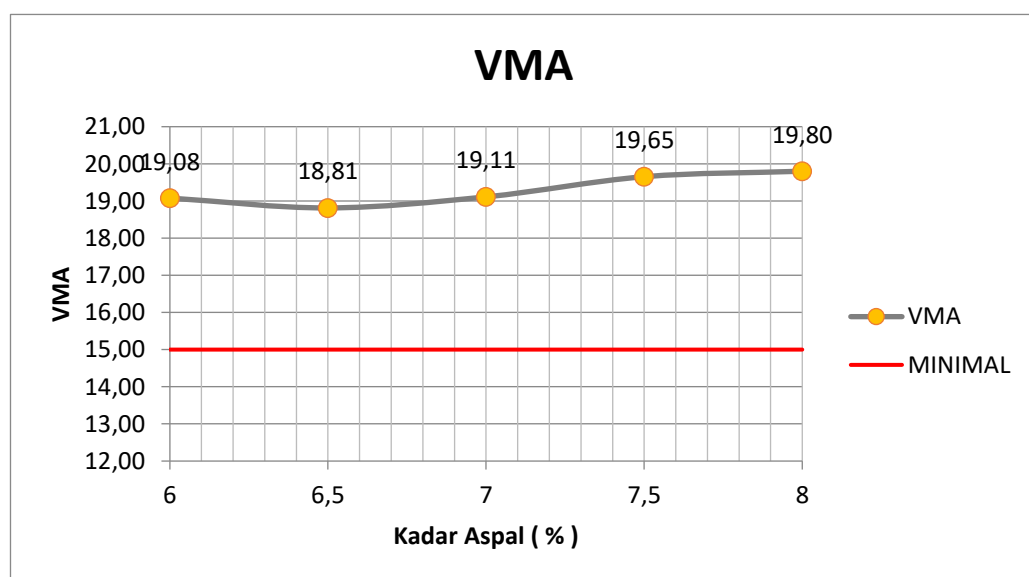
sehingga campuran dapat terwujud dengan maksimal. Sedangkan penambahan pada kadar aspal 6.0%-6,5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6.

4.6.2 Analisis Terhadap Nilai VMA

Tabel 4. 39 Analisis Terhadap Nilai VMA.

Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
6.0	19,08	(Min. 15) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
6.5	18,81		Memenuhi
7.0	19,11		Memenuhi
7.5	19,65		Memenuhi
8.0	19,80		Memenuhi

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 3 Grafik Analisis Nilai V.M.A.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

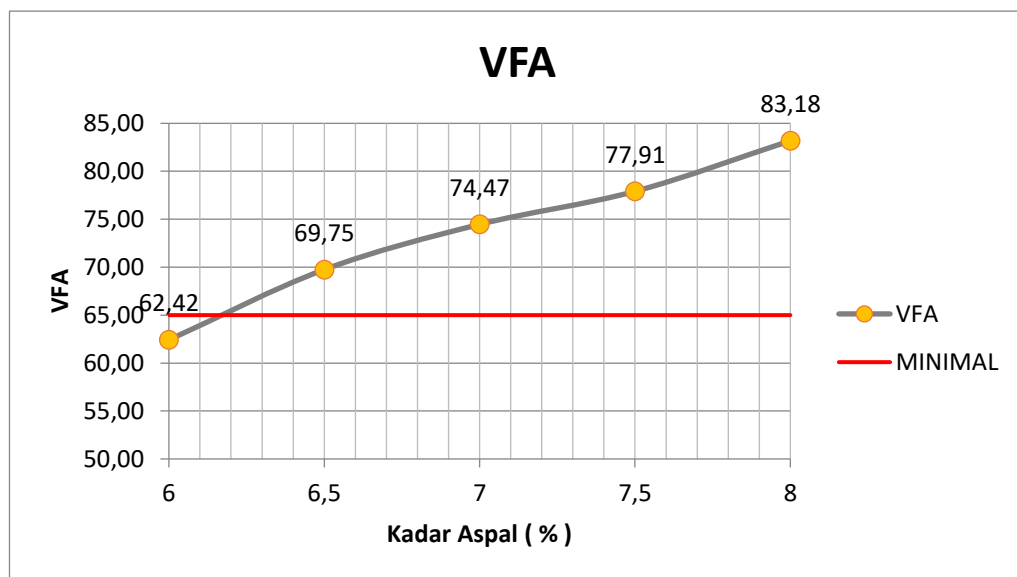
VMA atau *Void in the Mineral Aggregate* merupakan volume pori udara diantara butir agregat sebelum dicampur dengan aspal. Persentase yang didapat pada setiap kadar aspal mengalami peningkatan. Hasil tabel menunjukkan semakin banyak kadar aspal yang disubstitusikan semakin tinggi pula nilai VMA yang didapat memenuhi spesifikasi 15%.

4.6.3 Analisis Terhadap Nilai VFA

Tabel 4. 40 Analisis Terhadap Nilai VFA.

Kadar Aspal (%)	VFA (%)	Spesifikasi (%)	Keterangan
6.0	62,42	Min 65 Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	<i>Tidak</i>
6.5	69,75		<i>Memenuhi</i>
7.0	74,47		<i>Memenuhi</i>
7.5	77,91		<i>Memenuhi</i>
8.0	83,18		<i>Memenuhi</i>

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 4 Grafik Analisis Nilai V.F.A.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

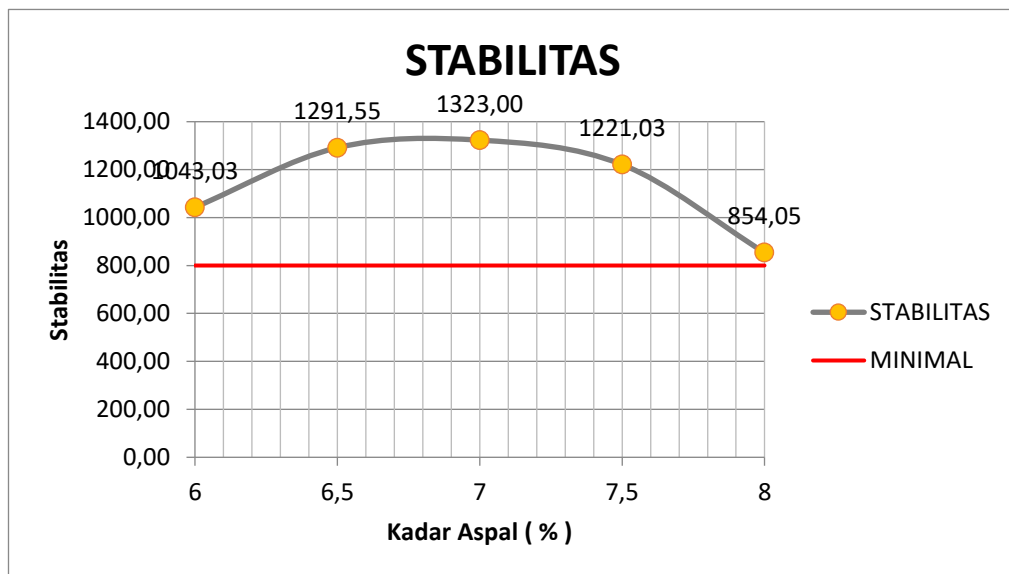
VFA atau *Volume of Voids Filled with Asphalt* yaitu volume pori udara yang terisi aspal. Tidak jauh berbeda dengan VMA, nilai VFA juga mengalami peningkatan setiap kadar aspalnya. Namun hanya pada kadar aspal 6.0% tidak memenuhi standar spesifikasi minimal yaitu 65%.

4.6.4 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Tabel 4. 41 Analisis Terhadap Nilai Stabilitas.

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (%)	Spesifikasi (Kg)	Keterangan
6.0	1043,03	(Min. 800) Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
6.5	1291,55		Memenuhi
7.0	1323,00		Memenuhi
7.5	1221,03		Memenuhi
8.0	854,05		Memenuhi

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 5 Grafik Analisis Nilai Stabilitas.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

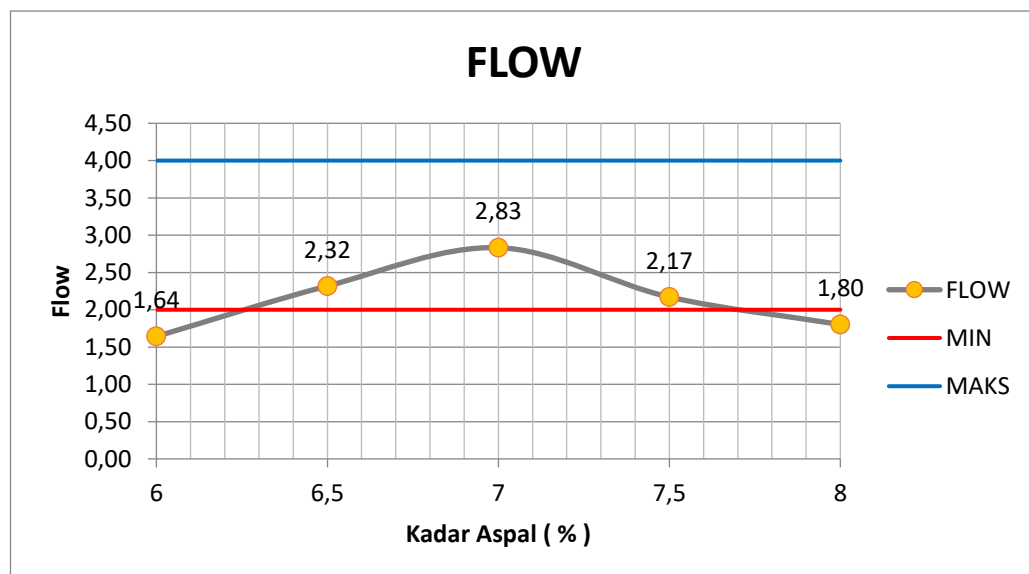
Pada Grafik 4.6 Dapat dilihat bahwa setiap kadar sudah memenuhi spesifikasi yang ada dan semakin tinggi kadar aspal yang digunakan semakin besar pula hasil stabilitas yang didapatkan. Namun hanya sampai pada kadar aspal 7,5% kemudian mengalami penurunan kembali pada kadar aspal 7,5% dan 8%. Ditinjau dari penurunan tersebut, mengisyaratkan bahwa nilai optimum pada stabilitas terletak diantara kadar aspal 6,5%, 7,0%, dan 7,5%.

4.6.5 Analisis Terhadap Nilai Flow

Tabel 4. 42 Analisis Terhadap Nilai Flow.

Kadar Aspal (%)	Flow (%)	Spesifikasi (mm)	Keterangan
6.0	1,64	2.0 - 4.0 Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Tidak
6.5	2,32		Memenuhi
7.0	2,83		Memenuhi
7.5	2,17		Memenuhi
8.0	1,80		Tidak

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



Gambar 4. 6 Grafik Analisis Nilai Flow.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

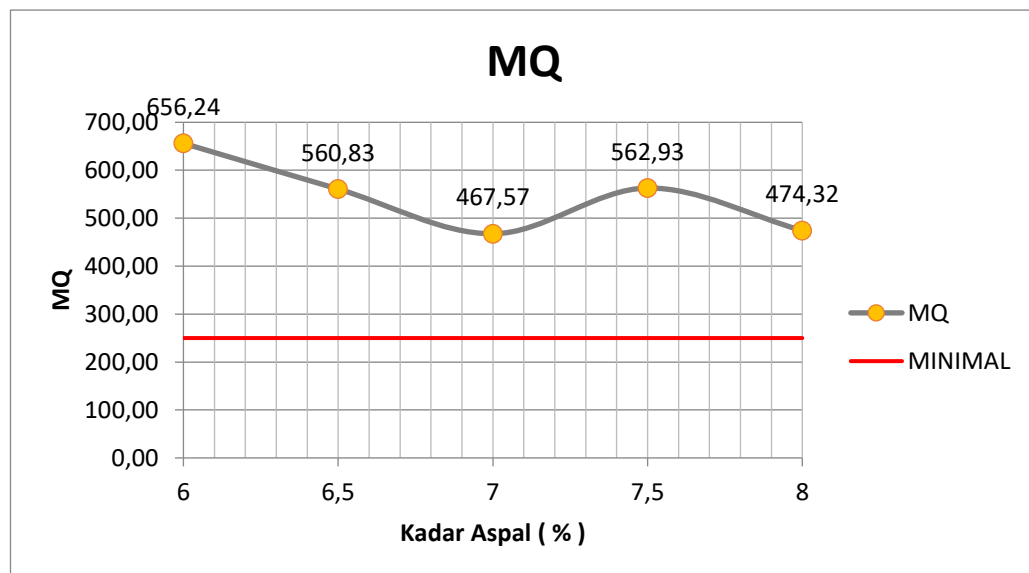
Nilai *Flow* tertinggi yaitu pada kadar aspal 7% menurut grafik *trendline*, menunjukkan sifat aspal sebagai bahan pengikat pada campuran bersifat elastis sehingga dapat menahan dan menyebarkan beban kendaraan hingga merata, namun pada kadar aspal 6.0% dan 8.0% nilai flow menunjukkan penurunan dan tidak masuk dalam nilai spesifikasi yang dibutuhkan.

4.6.6 Analisis Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ)

Tabel 4. 43 Analisis Terhadap Nilai MQ.

Kadar Aspal (%)	MQ (%)	Spesifikasi (Kg/mm)	Keterangan
6.0	656,24	Min 250 Spek. Umum Bina Marga 2018 (Revisi II Divisi 6)	Memenuhi
6.5	560,83		Memenuhi
7.0	467,57		Memenuhi
7.5	562,93		Memenuhi
8.0	474,32		Memenuhi

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.



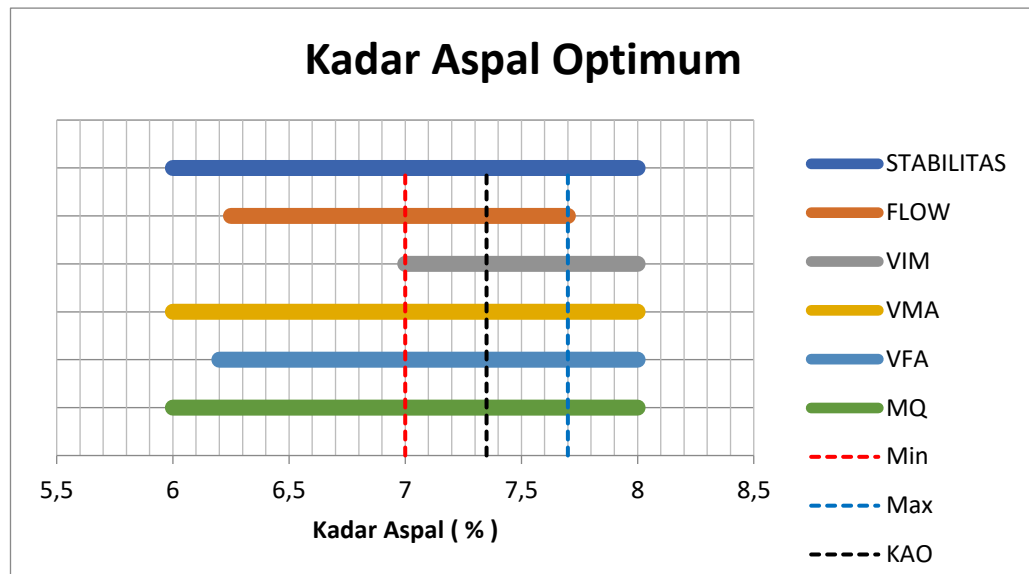
Gambar 4. 7 Grafik Analisis Nilai MQ.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Pada pengujian diperoleh hasil yang memenuhi spesifikasi pada setiap kadarnya. Nilai MQ (*Marshall Question*) yang paling baik yaitu pada kadar aspal 6,0% yang mengakibatkan aspal dapat memiliki sifat lentur dalam menahan beban kendaraan tapi tetap kaku tidak mudah *bleeding* karena masih dalam kisaran spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6.

4.7 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian *Job Mix Formula (JMF)* aspal AC-BC dengan standar yang disyaratkan dengan nilai stabilitas yang tertinggi, seperti pada Gambar 4.9 dibawah ini :



Gambar 4. 8 Kadar Aspal Optimum Normal.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Hasil pangujian *marshall* dengan menggunakan kadar aspal rencana semula (6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%) untuk campuran AC-BC diperoleh KAO yang ditentukan dari menggabungkan nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* yang mendapatkan suatu selang kadar aspal yang memenuhi syarat dan diambil nilai stabilitas tertinggi tersebut yaitu 7,3%.

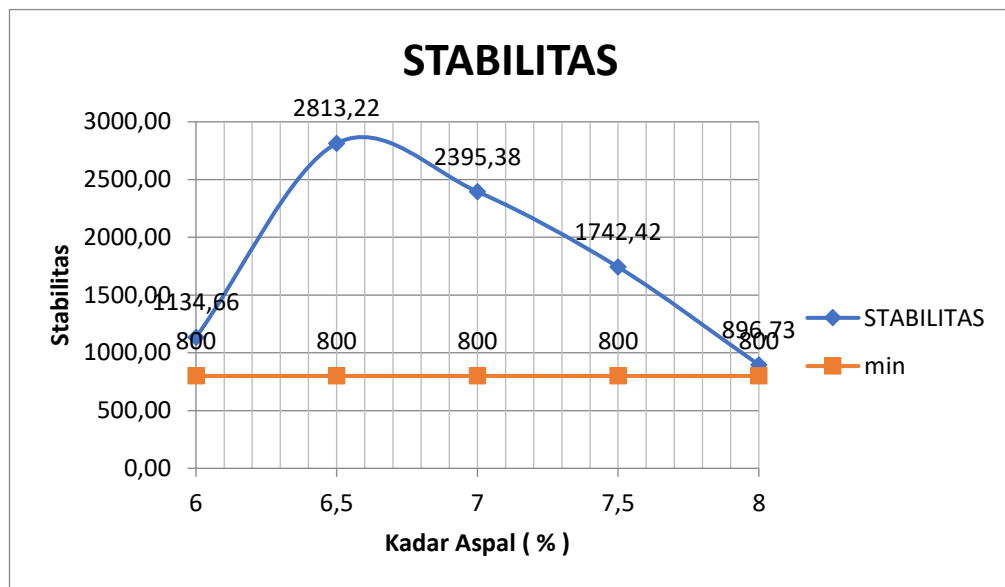
4.8 Hasil Uji KAO Penambahan Limbah Recycle 25%

Pada sub bab ini peneliti akan memaparkan hasil dari pengujian benda uji KAO dengan penambahan limbah *recycle* dan dengan benda uji tanpa penambahan limbah *recycle* sebagai control dengan limbah *recycle* 25 % untuk mengetahui pengaruh dan sebagai pembanding dari hasil yang telah didapatkan. Hasil dari pada pengujian yang telah dilakukan akan dibahas lebih mendalam mengenai karakteristik Marshall antara lain, stabilitas, VIM, VMA, VFA, Marshall Quotient, dan flow. Berdasarkan tabe rekapitulasi hasil test Marshall lapisan aspal beton AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) dan AC-BC dengan menggunakan Limbah recycle sebagai bahan pengganti Sebagian Agregat 1”.

4.8.1 Stabilitas

Hasil dari pengujian stabilitas pada aspal campuran laston AC-BC baik tanpa atau dengan Limbah *Recycle* dapat ditarik kesimpulan bahwa semua mengalami peningkatan dari nilai minimum pada spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi II Divisi 6. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penambahan limbah *Recycle* 25%

mengalami penurunan dari nilai stabilitas tetapi masih masuk dalam batas minimum yaitu 800 kg. Nilai stabilitas terbaik terdapat pada kadar aspal 6,5%. Penambahan limbah *Recycle* dapat memenuhi spesifikasi dari campuran laston AC-BC, dimana nilai minimum stabilitas berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 adalah 800 kg. Hasil stabilitas bisa di lihat pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Grafik Stabilitas.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

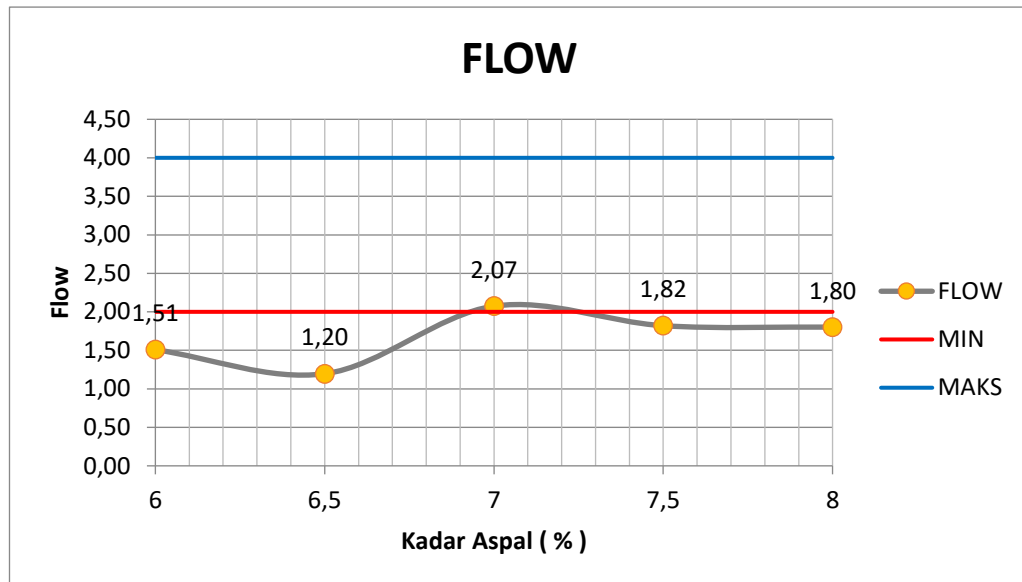
Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *Recycle* memiliki hasil stabilitas diatas rata-rata yang memenuhi kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding sebanding dengan kebutuhan jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat yang membutuhkan nilai stabilitas tinggi.

4.8.2 Kelelehan (Flow)

Hasil dari pengujian kelelehan atau flow untuk lapisan aspal beton AC-BC + limbah recycle, dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari Penggunaan limbah recycle sebagai pengganti Sebagian agregat 1". Sehingga dapat kita ketahui pengaruh dari penggunaan limbah recycle.

Penambahan variasi limbah recycle pada penelitian ini adalah 25 %. Pada kadar aspal 7 % didapat nilai kelelehan flow sebesar 2,07 mm, mengalami peningkatan dari nilai kontrol sebesar 1,51 mm yang tidak memenuhi nilai flow sebesar 2% sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018. Pada kadar aspal 8 % di dapat nilai kelelehan flow sebesar 1.80 mm, mengalami penurunan dari nilai kadar aspal 7%. Pada penambahan

variasi limbah recycle memenuhi persyaratan standar spesifikasi umum Bina Marga 2018 yaitu kelelehan atau flow minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Berikut hasil dari nilai kelelehan/flow bisa dilihat pada Gambar 4.10



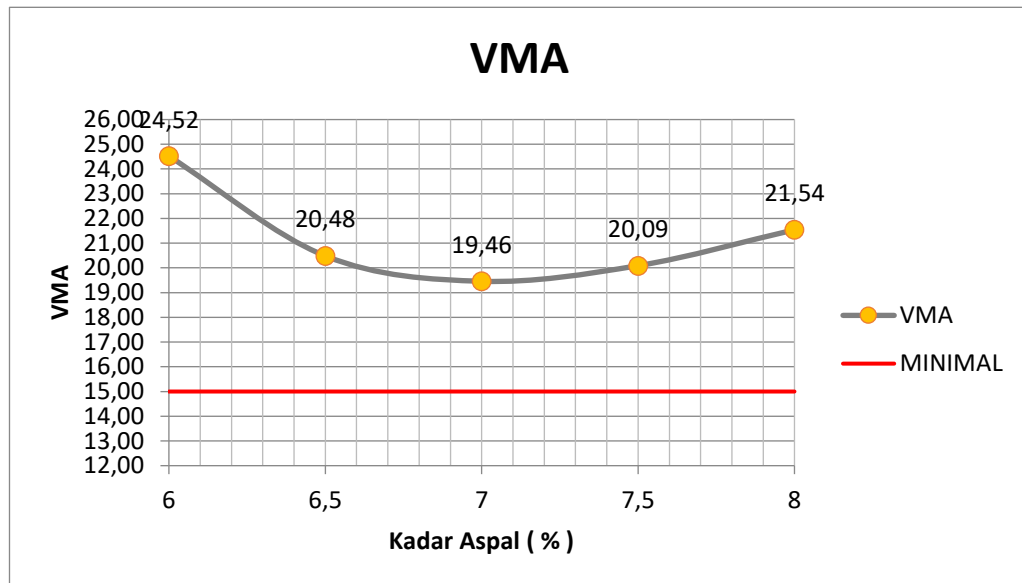
Gambar 4. 10 Grafik Kelelehan (Flow).

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 25%, memiliki nilai kelelehan atau flow diatas nilai minimum yaitu 2,00 mm yang menunjukkan campuran bersifat plastis tetapi juga tetap elastis agar memenuhi kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas secara merata. Lapisan aspal beton AC-BC + Limbah *recycle* memiliki sifat elastisitas yang cukup tetapi juga ada yang belum memenuhi nilai kelelehan atau flow yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018.

4.8.3 VMA (Voids in the Mineral Aggregate)

Hasil dari perhitungan VMA untuk campuran AC-BC + limbah recycle dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8%. Pada perhitungan VMA dengan kadar aspal 6% di dapat nilai tertinggi sebesar 24,52%, nilai tersebut paling tinggi dari batas nilai VMA. Pada kadar aspal 6,5% 7%, 7,5% dan 8% nilai VMA semakin turun namun tetap masuk dalam spesifikasi. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 sebesar 15%. Hasil VMA dapat dilihat pada Gambar 4.11.



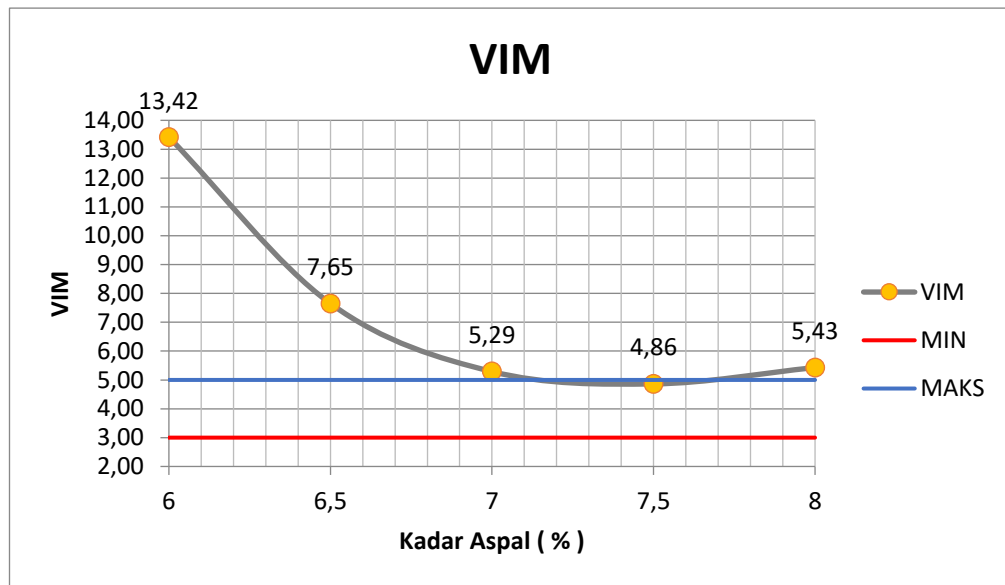
Gambar 4. 11 Grafik VMA.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 25% yang menunjukkan campuran mempunyai pori udara di antara butir agregat yang semakin sedikit dikarenakan ukuran gradasi yang semakin rapat untuk campuran AC-BC+ Limbah *recycle*. memenuhi nilai VMA minimal 15% yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018.

4.8.4 VIM (Void In Mix)

Hasil dari pengujian VIM lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%. Yaitu pada kadar aspal 7,5 % dengan nilai 4,86 % yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dimana nilai minimum untuk VIM adalah 3,0% dan maksimum 5,0% berdasarkan spesifikasi. Nilai VIM dapat dilihat Gambar 4.12.



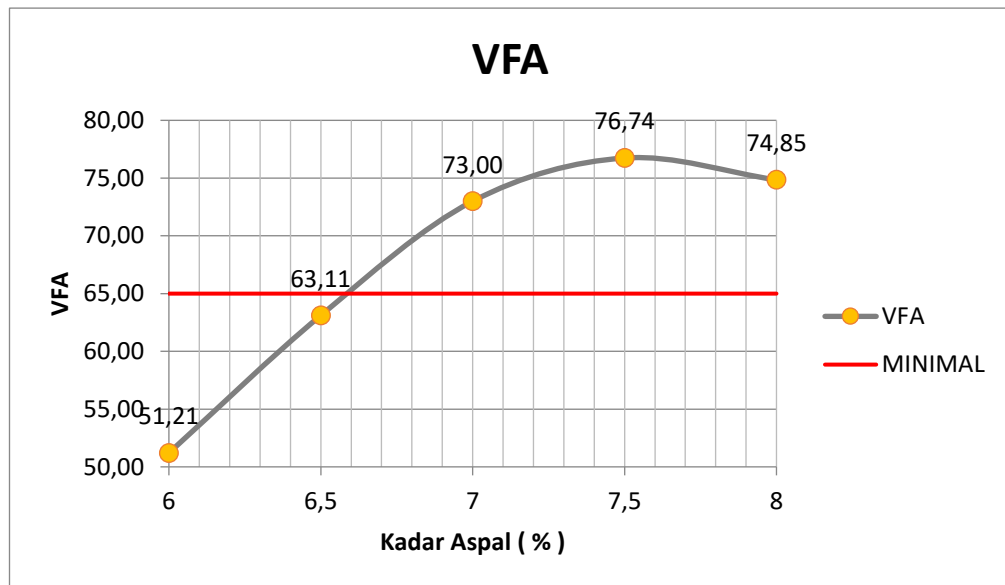
Gambar 4. 12 Grafik VIM.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 25% pada kadar aspal 7,5% menunjukkan campuran sesuai dengan persyaratan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 Revisi II.

4.8.5 VFA (Void Filled with Asphalt)

Hasil dari pengujian VFA lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 25% dengan kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada kadar aspal 7%, 7,5% dan 8% nilai VFA penambahan limbah *recycle* memenuhi persyaratan. Semakin tinggi kadar aspal yang dimasukkan, nilai VFA juga semakin tinggi dan memenuhi dengan persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu VFA minimal 65%. Nilai VFA dapat dilihat pada Gambar 4.13



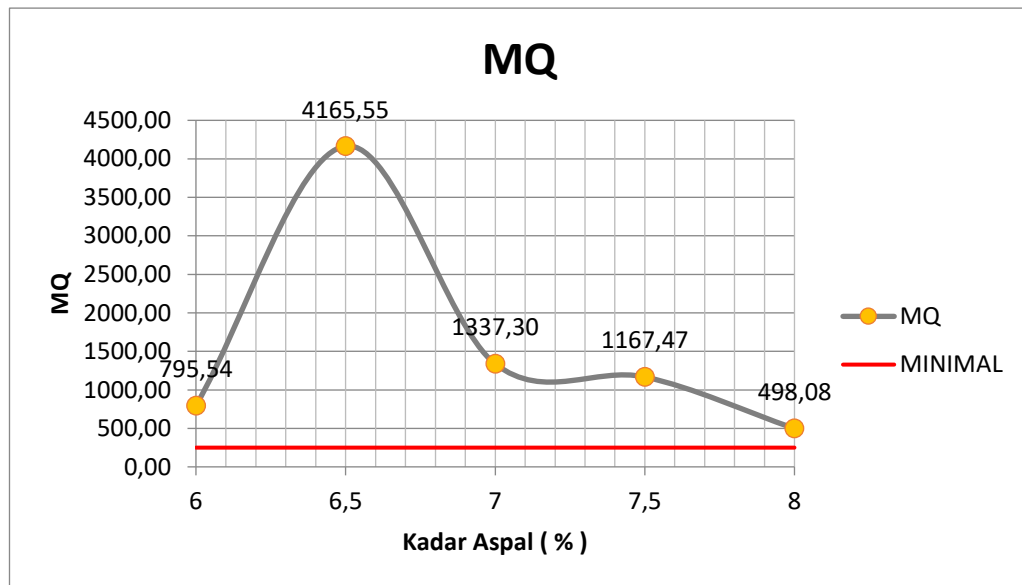
Gambar 4. 13 Grafik VFA.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 25% yang semakin tinggi menunjukkan campuran aspal mempunyai rongga-rongga dalam yang terisi aspal dengan optimum. Kriteria VFA ini membantu agar campuran tidak mudah rutting terhadap beban lalu lintas berat.

4.8.6 MQ (Marshall Quotient)

Hasil dari pengujian MQ (Marshall Quotient) lapisan aspal beton AC-BC + Limbah *Recycle* kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada semua nilai MQ penambahan limbah *recycle* 25% memenuhi nilai persyaratan. Standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai MQ (Marshall Quotient) minimal 250 Kg/mm. Hasil nilai MQ dapat dilihat pada Gambar 4.14.



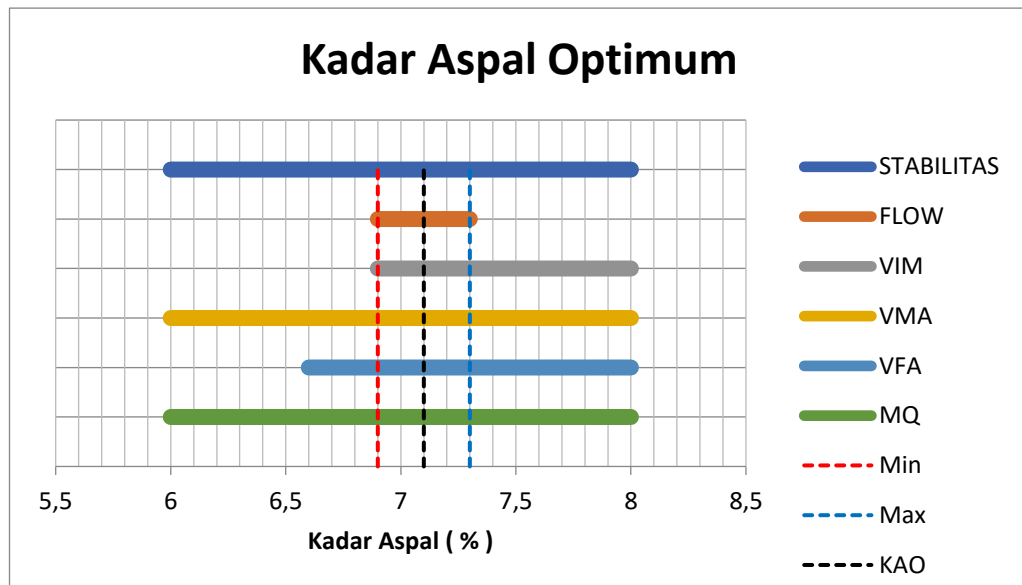
Gambar 4. 14 Grafik Marshall Quotient.

Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 25% memiliki nilai MQ (Marshall Quotient) yang paling tinggi yaitu 4165,55 Kg/mm pada kadar aspal 6,5% yang menunjukkan campuran mempunyai sifat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar aspal yang lain tetapi juga tetap memiliki sifat lentur dan stabil karena masih dalam ketentuan standart spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II.

4.8.7 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian Job Mix formula aspal AC-BC + Limbah *recycle* 25% dengan standar yang disyaratkan, seperti pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 Kadar Aspal Optimum (KAO)

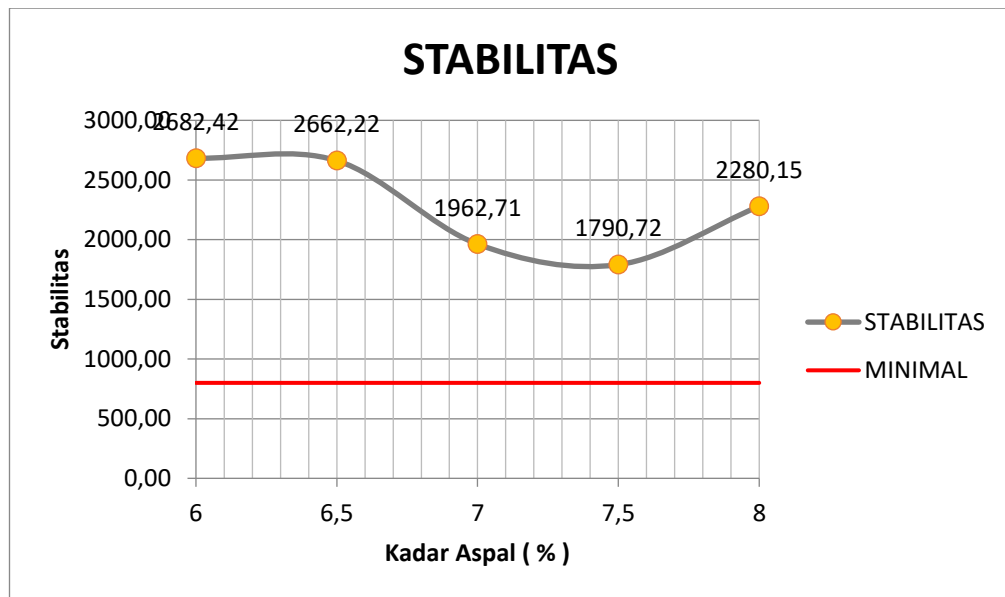
Sumber : Pengujian peneliti di Lab. Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bojonegoro.

Hasil pangujian marshall dengan menggunakan kadar penambahan limbah *recycle* 25% dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5 dan 8% diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yang ditentukan dari menggabungkan nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient (MQ) yang mendapatkan suatu selang kadar aspal yang memenuhi syarat, diambil nilai yang masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2018 selang nilai tersebut, disimpulkan bahwa KAO yang memenuhi karakteristik Marshall variasi sebesar 7,1%.

4.9 Hasil Uji KAO Penambahan Limbah *Recycle* 50%

4.9.1 Stabilitas

Hasil dari pengujian stabilitas Peningkatan nilai stabilitas terjadi pada penambahan limbah *recycle* 50% mengalami penurunan dari nilai stabilitas tetapi masih masuk dalam batas minimum yaitu 800 kg. Nilai stabilitas terbaik terdapat pada kadar aspal 6,5%. Penambahan limbah *recycle* dapat memenuhi spesifikasi dari campuran laston AC-BC, dimana nilai minimum stabilitas berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 adalah 800 kg. Hasil stabilitas bisa di lihat pada



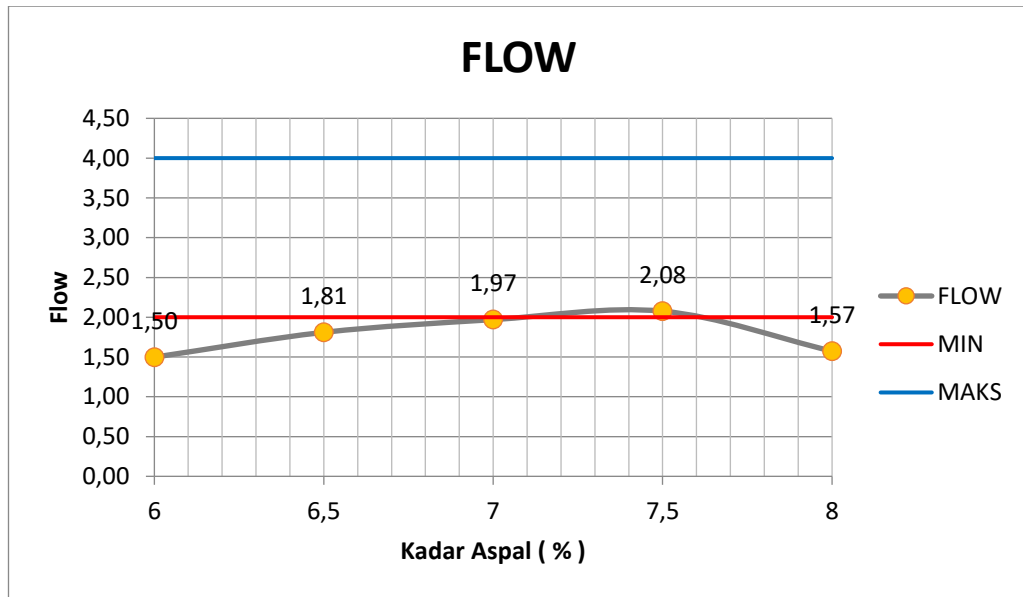
Gambar 4. 16 Grafik Stabilitas

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* memiliki hasil stabilitas diatas rata-rata berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018.

4.9.2 Kelelehan (Flow)

Hasil dari pengujian kelelehan atau flow untuk lapisan aspal beton AC-BC + limbah recycle, dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari Penggunaan limbah recycle sebagai pengganti Sebagian agregat 1". Sehingga dapat kita ketahui pengaruh dari penggunaan limbah recycle.

Penambahan variasi limbah recycle pada penelitian ini adalah 50 %. Pada kadar aspal 7,5 % didapat nilai kelelehan flow sebesar 2,08 mm, mengalami peningkatan dari nilai kontrol sebesar 1,50 mm yang tidak memenuhi nilai flow pada kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, dan 8%. Berdasarkan persyaratan standar spesifikasi umum Bina Marga 2018 yaitu kelelehan atau flow minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Berikut hasil dari nilai kelelehan/flow bisa dilihat pada Gambar 4.17

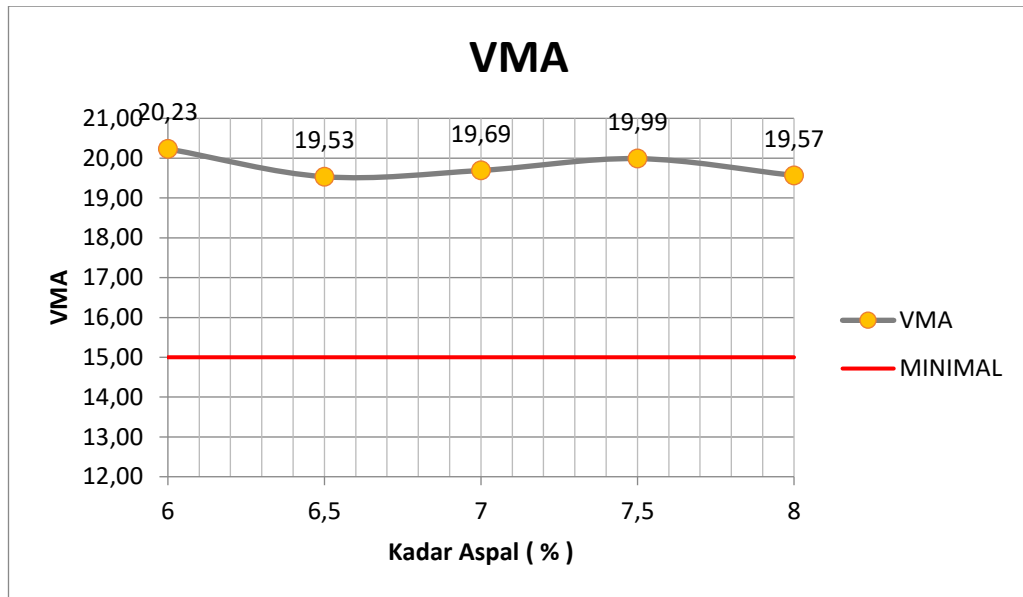


Gambar 4. 17 Grafik Flow

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 50%, memiliki nilai keelehan atau flow diatas nilai minimum yaitu 2,00 mm yang menunjukkan campuran bersifat plastis tetapi juga tetap elastis agar memenuhi kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas secara merata.

4.9.3 VMA (Voids in the Mineral Agregate)

Hasil dari perhitungan VMA untuk campuran AC-BC + limbah *recycle* 50% dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8%. Pada perhitungan VMA dengan kadar aspal 6% di dapat nilai tertinggi sebesar 20,23%, nilai tersebut paling tinggi dari batas nilai VMA. Pada kadar aspal 6,5% sampai 8% nilai VMA semakin turun namun tetap masuk dalam spesifikasi. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 sebesar 15%. Hasil VMA dapat dilihat pada Gambar 4.18

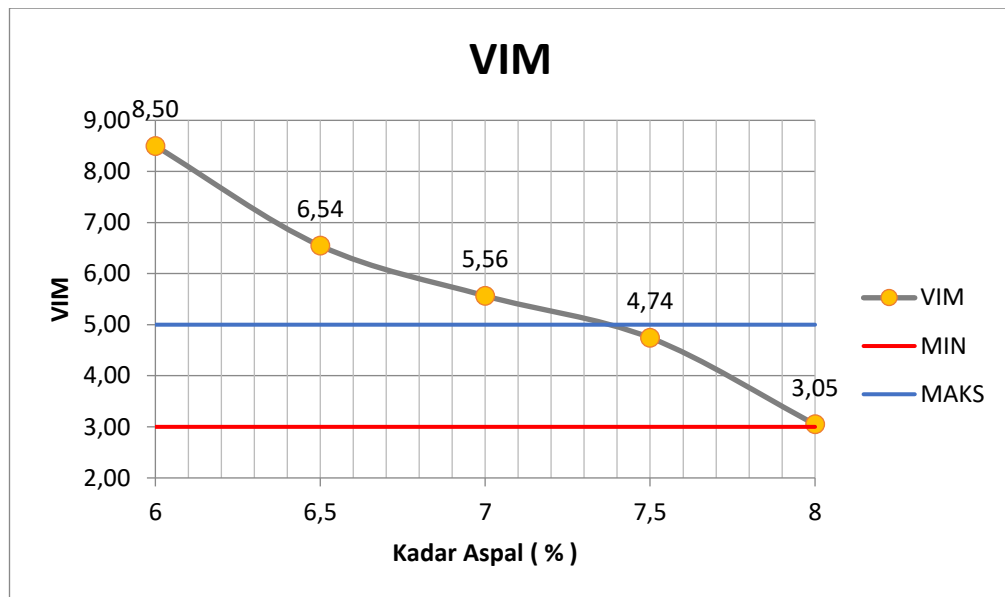


Gambar 4. 18 Grafik VMA

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui nilai VMA dari benda uji dengan penambahan limbah *recycle* di dapatkan nilai rata – rata sebesar 20,23% pada benda uji dengan kadar aspal 6%, dan pada benda uji dengan kadar aspal 6,5% di dapat nilai rata – rata sebesar 19,53%, pada benda uji dengan kadar aspal 7% di dapatkan nilai rata – rata sebesar 19,69%, pada benda uji dengan kadar aspal 7,5% di dapatkan nilai rata – rata sebesar 19,99%, pada benda uji dengan kadar aspal 8% di dapatkan nilai rata – rata sebesar 19,57% memenuhi nilai VMA minimal 15% yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

4.9.4 VIM (Void in Mix)

Hasil dari pengujian VIM lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 50 % dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%. Yaitu pada kadar aspal 7,5 % dengan nilai 4,74 % dan kadar aspal 8% dengan nilai 3,05 yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dimana nilai minimum untuk VIM adalah 3,0% dan maksimum 5,0% berdasarkan spesifikasi. Nilai VIM dapat dilihat Gambar 4.19

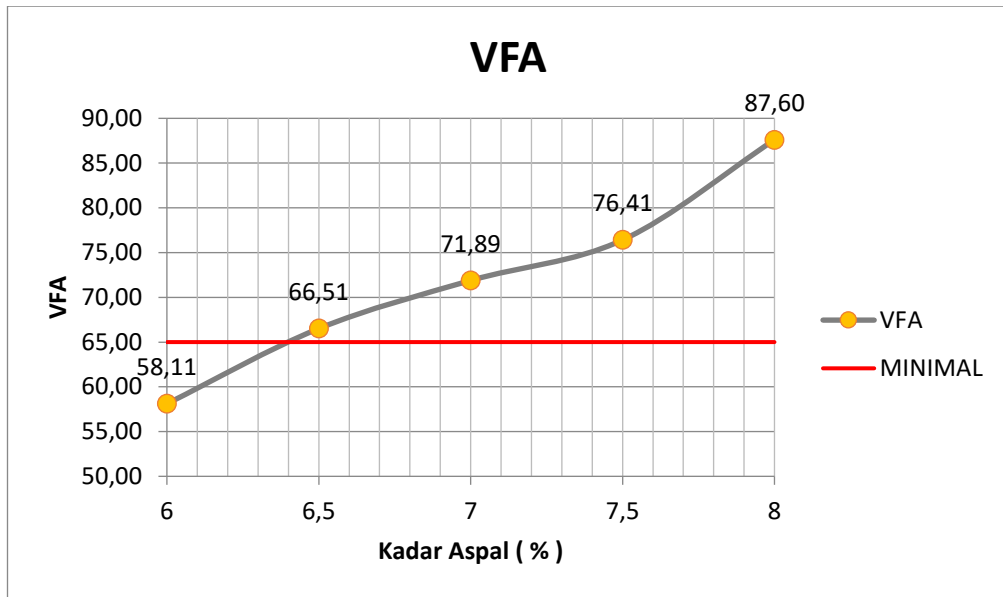


Gambar 4. 19 Grafik VIM

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 50% benda uji dengan kadar aspal 6% dengan nilai rata – rata 8,50%, kadar aspal 6,5% dengan nilai rata – rata 6,54%. Kadar aspal 7% dengan nilai rata – rata 5,56% kadar aspal 7,5% dengan nilai rata – rata 4,74% dan kadar aspal 8% dengan nilai rata – rata 3,05% berdasarkan data di atas menunjukan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka semakin kecil untuk ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Untuk memenuhi nilai VIM yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018.

4.9.5 VFA (Void Filled with Asphalt)

Hasil dari pengujian VFA lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 50% dengan kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada kadar aspal 6%, 7%, 7,5% dan 8% nilai VFA penambahan limbah *recycle* memenuhi persyaratan. standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu VFA minimal 65%. Nilai VFA dapat dilihat pada Gambar 4.20.

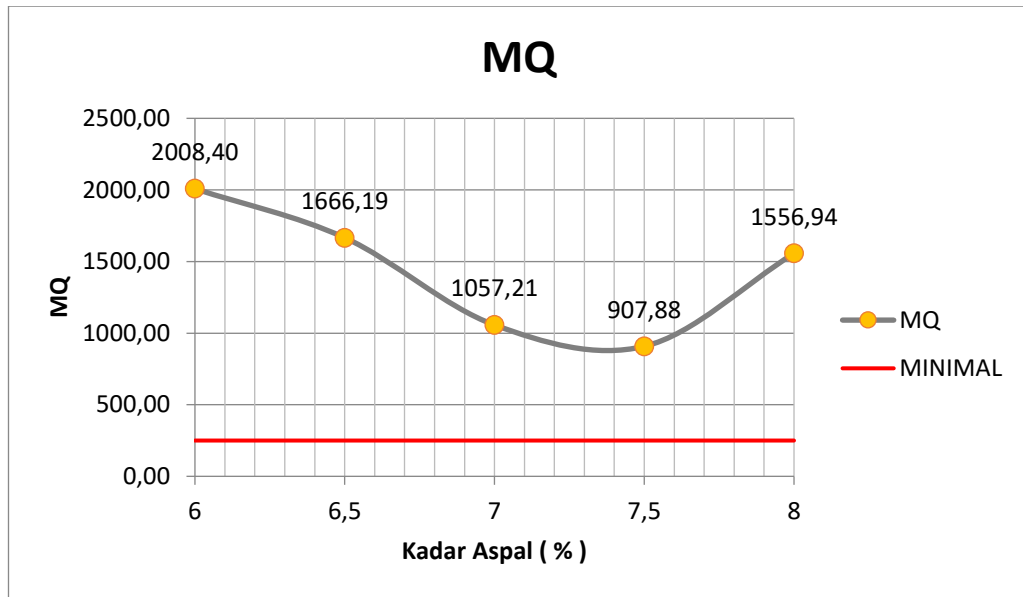


Gambar 4. 20 Grafik VFA

Berdasarkan tabel grafik diatas terlihat bahwa pada kadar aspal 6% dengan nilai 58,11 tidak memenuhi untuk spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Dimana nilai rata – rata dari benda uji dengan kadar aspal 6,5% adalah 66,51%, sedangkan untuk benda uji dengan kadar aspal 7% adalah 71,89%, benda uji dengan kadar aspal 7,5% adalah 76,41%, benda uji dengan kadar aspal 8% adalah 87,60%.

4.9.6 MQ (Marshall Quotient)

Hasil dari pengujian MQ (Marshall Quotient) lapisan aspal beton AC-BC + Limbah *Recycle* kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada semua nilai MQ penambahan limbah *recycle* 50% memenuhi nilai persyaratan. Standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai MQ (Marshall Quotient) minimal 250 Kg/mm. Hasil nilai MQ dapat dilihat pada Gambar 4.21.

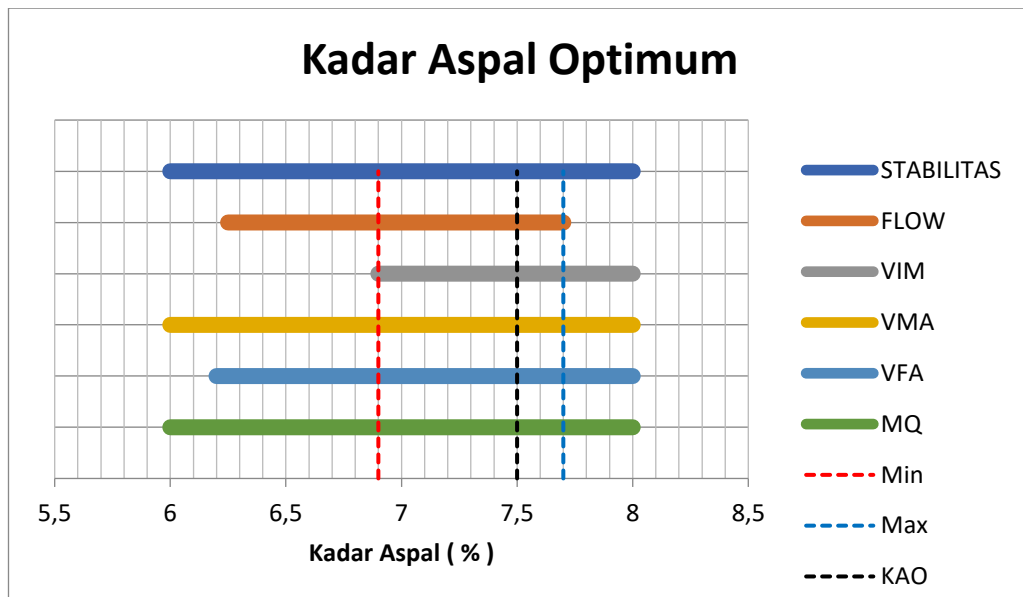


Gambar 4. 21 Grafik Marshall Quotient

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 50% memiliki nilai MQ (Marshall Quotient) yang paling tinggi yaitu 2008,40 Kg/mm pada kadar aspal 6% yang menunjukkan campuran mempunyai sifat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar aspal yang lain tetapi juga tetap memiliki sifat lentur dan stabil karena masih dalam ketentuan standart spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II.

4.9.7 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian Job Mix formula aspal AC-BC + Limbah *recycle* 50% dengan standar yang disyaratkan, seperti pada Gambar 4.22



Gambar 4. 22 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil pangujian marshall dengan menggunakan kadar penambahan limbah *recycle* 50% dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5 dan 8% diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yang ditentukan dari menggabungkan nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient (MQ) yang mendapatkan suatu selang kadar aspal yang memenuhi syarat, diambil nilai yang masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2018 selang nilai tersebut, disimpulkan bahwa KAO yang memenuhi karakteristik Marshall variasi sebesar 7,5%.

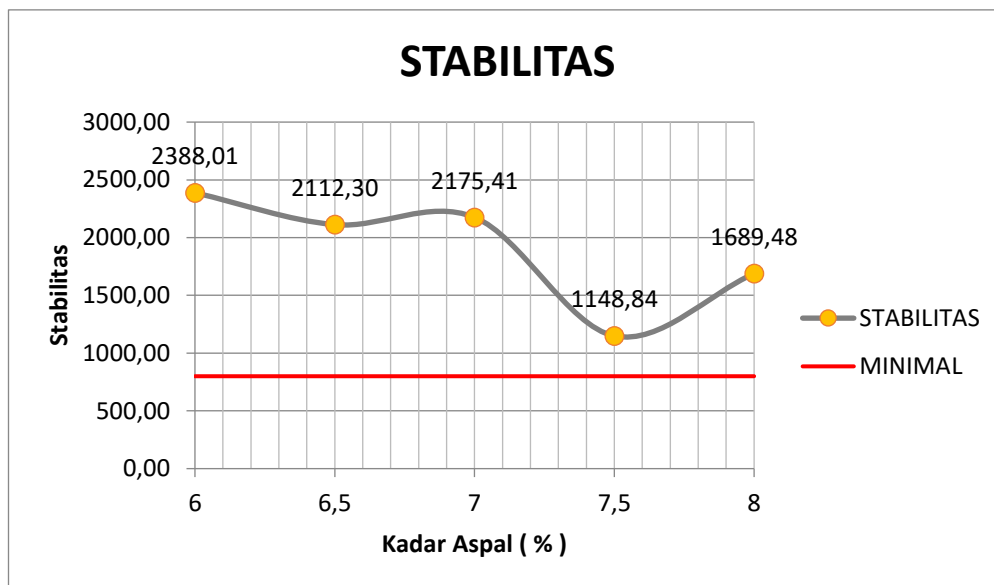
4.10 Hasil Uji KAO Penambahan Limbah *Recycle* 75%

Pada sub bab ini peneliti akan memaparkan hasil dari pengujian benda uji KAO dengan penambahan limbah *recycle* dan dengan benda uji tanpa penambahan limbah *recycle* sebagai control dengan limbah *recycle* 75 % untuk mengetahui pengaruh dan sebagai pembanding dari hasil yang telah didapatkan. Hasil dari pada pengujian yang telah dilakukan akan dibahas lebih mendalam mengenai karakteristik Marshall antara lain, stabilitas, VIM, VMA, VFA, Marshall Quotient, dan flow. Berdasarkan tabe rekapitulasi hasil test Marshall lapisan aspal beton AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) dan AC-BC dengan menggunakan Limbah *recycle* sebagai bahan pengganti Sebagian Agregat 1”

4.10.1 Stabilitas

Stabilitas merupakan kekuatan perkerasan jalan laston menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding* (keluarnya aspal ke permukaan).Peningkatan nilai stabilitas tertinggi terjadi pada penambahan limbah *recycle* 75%. Nilai stabilitas terbaik terdapat pada kadar aspal 6%. Dengan nilai

2388,01 dimana nilai minimum stabilitas berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 adalah 800 kg. Hasil stabilitas bisa di lihat pada Gambar 4.23



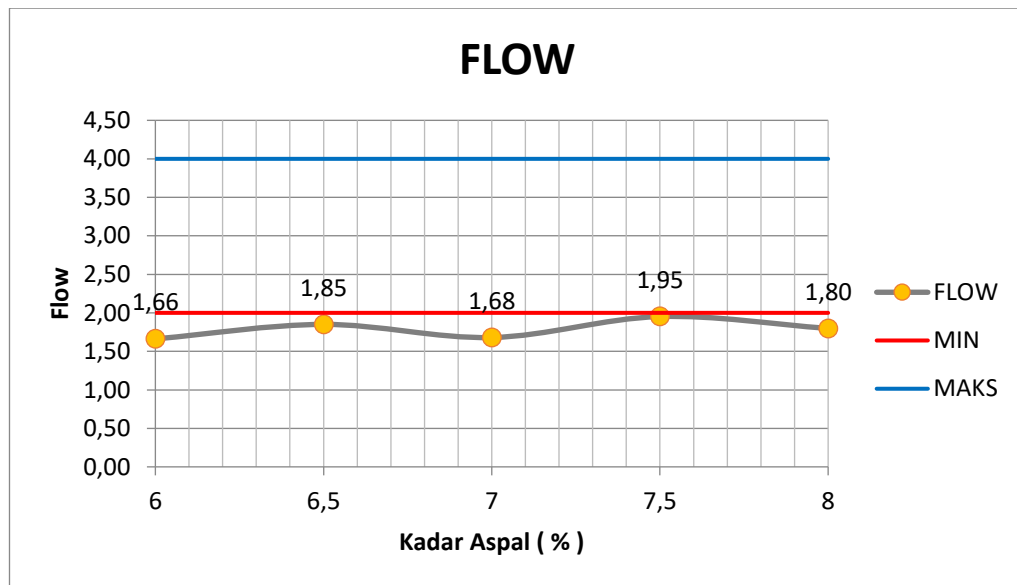
Gambar 4. 23 Grafik Stabilitas

Bedasarkan table grafik di atas maka dapat di simpulkan bahwa nilai stabilitas pada benda uji menggunakan bahan tambahan limbah *recycle* 75% adalah sebesar 2388,01 kg/mm untuk benda uji dengan persentase aspal 6%, lalu mengalami penurunan ke angka 2112,30kg/mm dengan benda uji dengan persentase aspal 6,5%, dan mengalami kenaikan ke angka 217541 kg/mm pada benda uji dengan persentase aspal 7%, lalu penurunan ke angka 1148,84 kg/mm pada benda uji dengan persentase 7,5%. Dan mengalami kenaikan ke angka 1689,48 kg/mm pada benda uji dengan persentase 8%. Pada seluruh benda uji normal ini seluruh rata – rata pada variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yang persyaratan minimumnya sebesar 800kg.

4.10.2 Kelelehan (Flow)

Hasil dari pengujian kelelehan atau flow untuk lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle*, dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari Penggunaan limbah *recycle* sebagai pengganti Sebagian agregat 1”. Sehingga dapat kita ketahui pengaruh dari penambahan limbah *recycle*.

Pada penambahan variasi limbah *recycle* tidak memenuhi persyaratan standar spesifikasi umum Bina Marga 2018 yaitu kelelehan atau flow minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Berikut hasil dari nilai kelelehan/flow bisa dilihat pada Gambar 4.24.

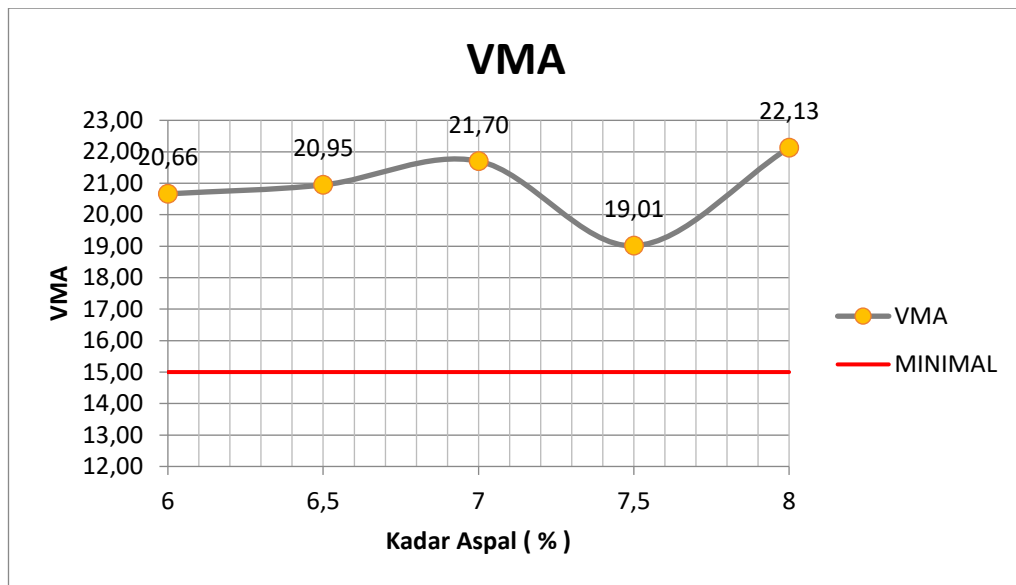


Gambar 4. 24 Grafik Flow

Berdasarkan tabel 4.3 Di atas dapat dilihat bahwa nilai kelelahan (flow) pada variasi penambahan limbah *recycle* 75% ada yang tidak memenuhi spesifikasi dan nilai kelelahan pada benda uji dengan variasi 6% di dapatkan nilai rata – rata 1,66 mm yang dimana tidak memenuhi spesifikasi, benda uji dengan variasi 6,5% dengan nilai rata – rata 1,85 mm dan tidak memenuhi spesifikasi, benda uji dengan variasi 7% dengan nilai rata – rata 1,68 mm dan tidak memenuhi spesifikasi, benda uji dengan variasi 7,5% dengan nilai rata – rata 1,95 mm tidak memenuhi spesifikasi, benda uji dengan variasi 8% dengan nilai rata – rata 1,80 mm tidak memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018.

4.10.3 VMA (Voids in the Mineral Agregate)

Hasil dari perhitungan VMA untuk campuran AC-BC + limbah *recycle* dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8%. Pada perhitungan VMA dengan kadar aspal 8% di dapat nilai tertinggi sebesar 22,13%, nilai tersebut paling tinggi dari batas nilai VMA. Pada kadar aspal 6,5% 7%, 7,5% 8% nilai VMA semakin turun namun tetap masuk dalam spesifikasi. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 sebesar 15%. Hasil VMA pada variasi limbah *recycle* dapat dilihat pada Gambar 4.25

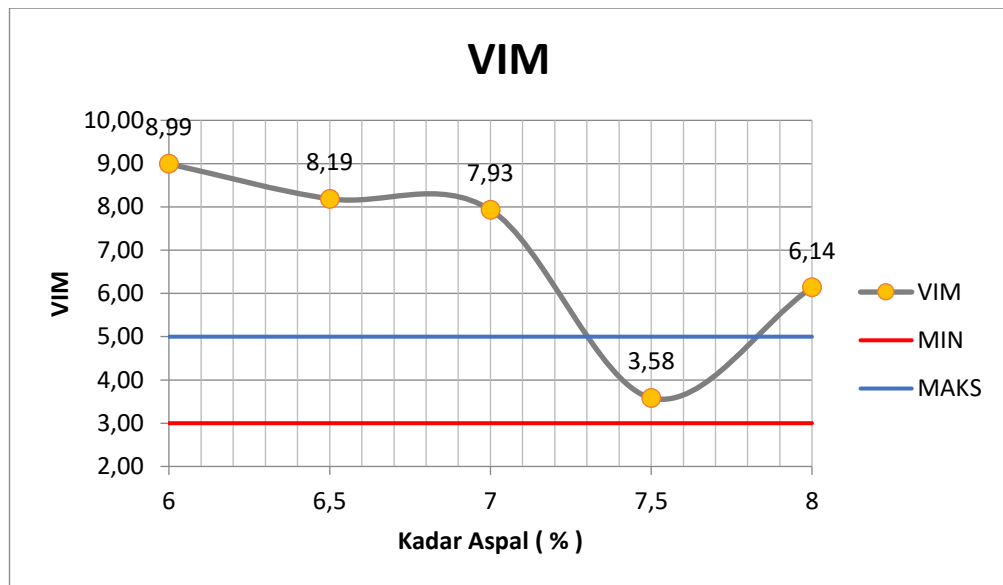


Gambar 4. 25 Grafik VMA

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 75% yang menunjukkan campuran mempunyai pori udara di antara butir agregat yang semakin sedikit dikarenakan ukuran gradasi yang semakin rapat untuk campuran AC-BC + Limbah *recycle*. memenuhi nilai VMA minimal 15% yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018.

4.10.4 VIM (Void in Mix)

Hasil dari pengujian VIM lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%. Yaitu pada kadar aspal 7,5 % dengan nilai 3,58% yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dimana nilai minimum untuk VIM adalah 3,0% dan maksimum 5,0% berdasarkan spesifikasi. Nilai VIM dapat dilihat Gambar 4.26.

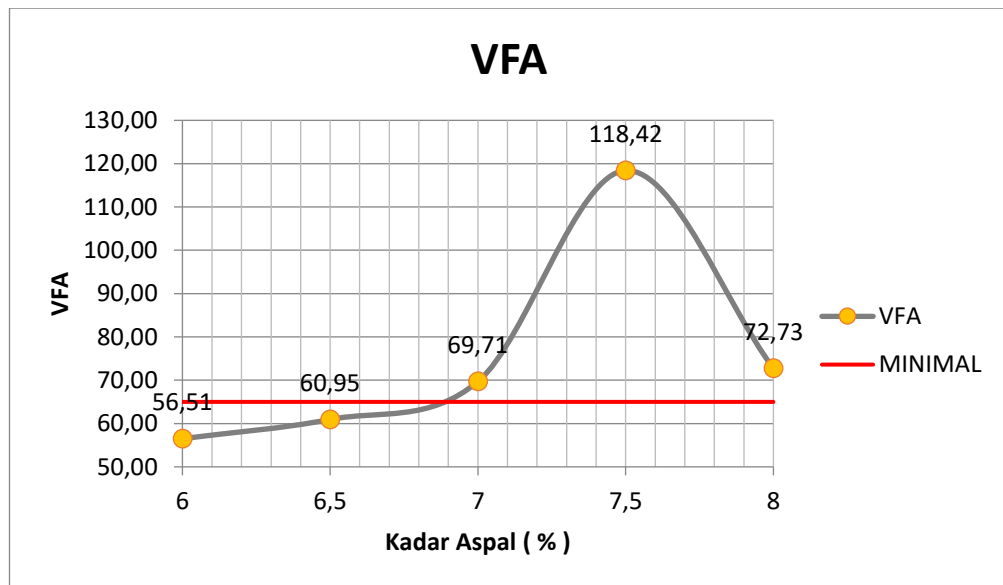


Gambar 4. 26 Grafik VIM

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 75% memiliki peningkatan nilai VIM pada kadar aspal 6%, 6,5% 7%, dan 8% menunjukkan campuran mempunyai pori udara di antara butir agregat dan aspal yang lebih sedikit dikarenakan lelehan dari kadar aspal yang terdapat pada agregat yang lebih rapat tetapi juga tetap memenuhi nilai VIM yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018.

4.10.5 VFA (Void Filled with Asphalt)

Hasil dari pengujian VFA lapisan aspal beton AC-BC dengan penambahan limbah *recycle* 75% dengan kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada kadar aspal 7%, 7,5% dan 8% nilai VFA penambahan limbah *recycle* memenuhi persyaratan. Semakin tinggi kadar aspal yang dimasukkan, nilai VFA juga semakin tinggi dan memenuhi dengan persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu VFA minimal 65%. Nilai VFA dapat dilihat pada Gambar 4.27.

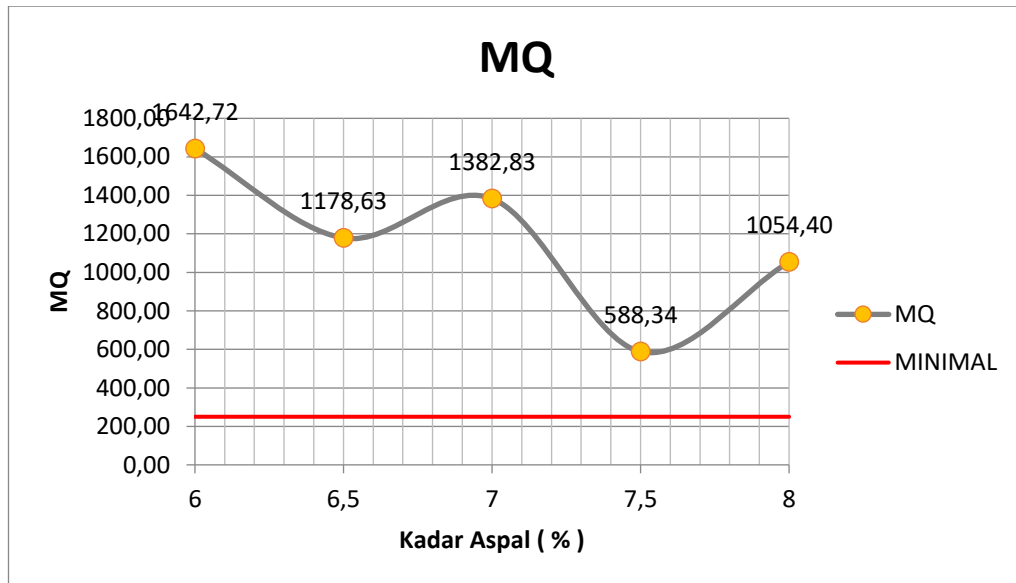


Gambar 4. 27 Grafik VFA

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 75% yang semakin tinggi menunjukkan campuran aspal mempunyai rongga-rongga dalam yang terisi aspal dengan optimum. Kriteria VFA ini membantu agar campuran tidak mudah rutting terhadap beban lalu lintas berat.

4.10.6 MQ (Marshall Quotient)

Hasil dari pengujian MQ (Marshall Quotient) lapisan aspal beton AC-BC + Limbah Recycle kadar aspal 6%, 6,5% 7%, 7,5% dan 8%. Pada semua nilai MQ penambahan limbah recycle 75% memenuhi nilai persyaratan. Standar spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai MQ (Marshall Quotient) minimal 250 Kg/mm. Hasil nilai MQ dapat dilihat pada **Gambar 4.28**.

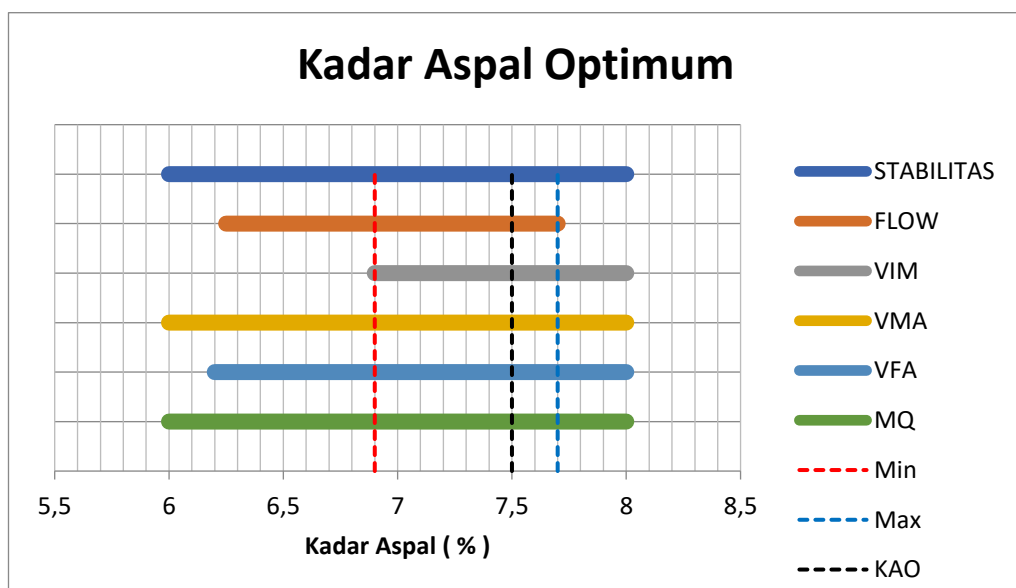


Gambar 4. 28 Grafik Marshall Quotient

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-BC + limbah *recycle* 75% memiliki nilai MQ (Marshall Quotient) yang paling tinggi yaitu 1642,72 Kg/mm pada kadar aspal 6% yang menunjukkan campuran mempunyai sifat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kadar aspal yang lain tetapi juga tetap memiliki sifat lentur dan stabil karena masih dalam ketentuan standart spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II.

4.10.7 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian Job Mix formula aspal AC-BC + Limbah *recycle* 75% dengan standar yang disyaratkan, seperti pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil pangujian marshall dengan menggunakan kadar penambahan limbah *recycle* 75% dengan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5 dan 8% diperoleh kadar aspal optimum (KAO) yang ditentukan dari menggabungkan nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient (MQ) yang mendapatkan suatu selang kadar aspal yang memenuhi syarat, diambil nilai yang masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2018 selang nilai tersebut, disimpulkan bahwa KAO yang memenuhi karakteristik Marshall variasi sebesar 7,5%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil pembahasan tabel uji marshall limbah *recycle* 25%, 50% dan 75% tentang pengaruh penambahan limbah *recycle* pada campuran AC-BC dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan limbah *recycle* beton sebagai pengganti sebagian agregat pada campuran laston AC-BC mempengaruhi nilai karakteristik marshall. Penambahan limbah beton mempengaruhi nilai Stabilitas, VMA, dan Flow (kelelehan). Dimana Pada variasi penambahan limbah *recycle* 25% dengan nilai stabilitas paling tertinggi adalah 2813,22 kg persentase campuran limbah *recycle* dengan kadar aspal yang tinggi maka nilai stabilitasnya semakin kecil untuk penambahan limbah *recycle* 25% begitu juga dengan variasi penambahan limbah *recycle* 50% dan 75% dengan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6% dengan nilai 2682,42 kg di penambahan limbah *recycle* 50%. Pada variasi penambahan limbah *recycle* 75% di dapatkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6 % dengan nilai 2388,01 kg dari sini kita dapat simpulan bahwa semakin kecil untuk proporsi penambahan limbah *recycle* maka semakin bagus nilai stabilitasnya. Pada benda uji dengan penambahan limbah *recycle*, menghasilkan nilai VMA lebih baik dari benda uji normal yang dimana nilai VMA pada seluruh benda uji normal yang mana nilai VMA varisai limbah *recycle* 75% mendapatkan nilai rentang antara 20,98% – 22,44% sedangkan VMA benda uji normal menghasilkan nilai rentang 19,40% – 20,12%. Maka diketahui hasil dari benda uji dengan penambahan limbah *recycle* menghasilkan nilai VMA yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi II yaitu lebih dari 15%
2. Bedasarkan data table 4.23 - 4.37 marshall test maka dapat disimpulkan bahwa pada variasi penambahan limbah *recycle* 50% mendapatkan nilai yang paling mendekati terhadap persyaratan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 Revisi II.
3. Nilai kadar aspal optimum variasi penambahan limbah *Recycle* sebagai pengganti sebagian agregat campuran laston AC-BC. Pada penambahan limbah *recycle* 25% dengan nilai 7,1 %, pada penambahan limbah *recycle* 50% di dapatkan nilai KAO dengan nilai 7,5% dan untuk penambahan limbah *recycle* 75% di dapatkan nilai KAO dengan nilai 7,5% dari berat total benda uji,

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut maka penulis memberikan saran yang bermanfaat untuk penelitian pada masa yang akan datang, yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya tidak hanya dilakukan dari segi karakteristik Marshall aspal beton saja, harus dipertimbangkan lagi dalam segi biaya untuk mengurangi penggunaan agregat alam dengan menggunakan limbah *recycle* beton sebagai inovasi terbaru untuk mengurangi limbah beton yang ada di sekitar kita,
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai perbandingan kualitas batu pecah antara perusahaan batching plan yang satu dengan batching plan yang lain guna mengetahui perbandingan kualitas produk yang biasa digunakan proyek daerah satu tempat ke tempat daerah yang berbeda. Serta sumber material Bottom Ash dengan tempat yang berbeda apakah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi VI.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, 2018 , Spesikasi Umum 2018 (Revisi 2).
- Bina Marga, 2018 , Spesikasi Umum 2018 (Revisi 2).
- Hariyadi, Heru, dkk. 2018. Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh #80 dan Mesh #120 (Serbuk Limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan. Universitas Tidar: Magelang
- Jerniati Nasution. 2024. Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Aspal Beton Dan Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran *ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE* (AC-BC)
- Imannurrohman Naufal, Sudarno, Muhammad amin. 2021. Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC). Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil v.02, n.1, p. 25-32, Agustus 2021
- 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.
- SNI 06-2489-1991. METODE PENGUJIAN CAMPURAN ASPAL DENGAN ALAT MARSHALL
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)
- Sudarno, 2015. Influence of Virgin Material on Cement Treated Recycling Base (CTRB) Construction.