

Analisis Campuran Panas Aspal Beton (LASTON AC-WC) dengan Batas Gradasi Menerus Agregat Campuran No. IV (Quarry Ex. Kali Mio, Desa Mio, NTT)

Yantika Taruk Rante¹ Susilowati²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kahuripan Kediri

² Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kahuripan Kediri

✉ tikatarukrante@gmail.com

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang berperan sebagai sarana penghubung antarwilayah. Kerusakan jalan tidak hanya menghambat aktivitas perekonomian, tetapi juga berpotensi menyebabkan kecelakaan. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah degradasi jalan akibat kualitas aspal yang buruk. Berdasarkan data DJBM PUPR tahun 2023, 70,23% kondisi jalan di NTT mengalami kerusakan sedang hingga berat. Komposisi aspal hotmix merupakan faktor krusial yang mempengaruhi kualitas perkerasan jalan. Campuran aspal terdiri dari agregat kasar dan halus yang harus memenuhi standar pengujian agregat, yang salah satunya ditentukan melalui uji analisis saringan (gradasi). Pada penelitian ini, campuran beton aspal AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) dirancang menggunakan metode Marshall untuk menentukan kadar aspal optimal (KAO). Material yang digunakan berasal dari Quarry Kali Mio milik PT. Nanda Karya Putra Pratama, sementara data uji laboratorium diperoleh dari PT. Nanda Putra Pratama Karya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter Marshall yang memenuhi standar Bina Marga Terkendali Revisi II Tahun 2018 adalah stability sebesar 1150,65 kg, flow 3,13 mm, Marshall quotient 1,15, VIM 3,48%, VMA 16,75%, dan VFB 79,26%. Berdasarkan analisis, KAO yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 6,0%, yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan daya tahan perkerasan jalan di wilayah NTT.

Kata kunci: Aspal, Gradasi, Analisa Saringan No.IV, Marshall Test

Diajukan: 14 Maret 2024

Direvisi: 23 April 2024

Diterima: 29 Juli 2024

Dipublikasikan online: 1 Agustus 2024

Pendahuluan

Jalan raya merupakan infrastruktur yang sangat penting dalam menunjang konektivitas antarwilayah serta kelancaran perjalanan darat. Kerusakan jalan tidak hanya menghambat aktivitas perekonomian, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan. Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di Indonesia, khususnya di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), adalah kerusakan jalan yang masih banyak ditemukan, terutama di wilayah pedalaman. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dan daya tahan perkerasan jalan adalah komposisi campuran aspal, yang berperan penting dalam memastikan ketahanan dan durabilitas jalan.

Campuran aspal terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal sebagai bahan pengikat. Agregat merupakan elemen utama dalam campuran aspal, yang menyumbang sekitar 95% dari total berat campuran, sementara aspal berfungsi sebagai perekat antar agregat. Karakteristik kedua material ini sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kinerja perkerasan aspal. Ariyanti dkk. (2018) menyatakan bahwa proporsi agregat dalam campuran berpengaruh terhadap parameter Marshall, yang menjadi standar dalam menilai kualitas campuran aspal beton-wearing course (AC-WC) tanpa mengurangi kualitas material aslinya.

Dalam upaya meningkatkan kualitas perkerasan jalan, Bina Marga (2018) memperbarui spesifikasi terkendali yang

menggantikan batasan spesifikasi dalam SNI 03-1737-1989 terkait dengan desain campuran aspal panas. Berdasarkan spesifikasi ini, terdapat tiga jenis kombinasi penyusun beton aspal, yaitu Laston AC-WC, Laston AC-BC, dan AC-Base. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2019), Laston AC-WC merupakan lapisan permukaan (wearing course) yang berada di bagian atas perkerasan dan berfungsi sebagai lapisan aus. Campuran ini menggunakan aspal Pen 60-70 dengan ukuran agregat maksimum 19 mm. Laston AC-BC berfungsi sebagai lapisan antara (binder course) dengan ukuran agregat maksimum 25 mm, sedangkan Laston AC-Base adalah lapisan pondasi dengan ukuran agregat maksimum 37,5 mm.

Beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti pengaruh agregat dan metode pencampuran terhadap kualitas campuran aspal. Lebang dan Lewaherlla (2021) dalam penelitiannya mengenai stabilitas campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dengan karet alam sebagai material perkerasan jalan, menemukan bahwa campuran ini memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2010 dengan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) sebesar 6,25%. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Laitupa dkk. (2022) tentang analisis campuran kerja (JMD) pada rekonstruksi ruas jalan Taniwel-Saleman, menggunakan metode AASHTO untuk perhitungan Hot Mix Design Marshall dan metode Bina Marga untuk evaluasi sifat Marshall. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak semua karakteristik Marshall

Rante Y.T, Susilowati. (2023) Analisis Campuran Panas Aspal Beton (Laston AC-WC) dengan Batas Gradasi Menerus Agregat Campuran No. IV (Quarry Ex. Kali Mio, Desa Mio, NTT). *Buletin Profesi Insinyur* 7(2) 071-080



pada gradasi gabungan di laboratorium maupun di Hot Bin AMP memenuhi spesifikasi AC-WC, kecuali pada kadar aspal optimum. Penelitian oleh Suhardi, Pratomo, dan Ali (2016) dalam *JRSDD* menunjukkan bahwa penambahan limbah botol plastik (PET) pada AC-BC mempengaruhi karakteristik Marshall. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar aspal 6,38% - 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010, dengan KAO 6,44%. Studi ini mengungkapkan bahwa semakin tinggi kadar PET, stabilitas meningkat, tetapi kadar rongga dalam campuran juga bertambah.

Berdasarkan uraian di atas serta hasil penelitian sebelumnya, penelitian ini akan dilakukan dengan judul "Analisis Campuran Panas Aspal Beton (Laston AC-WC) dengan Batas Gradasi Menerus Agregat Campuran No. IV (Quarry Ex. Kali Mio, Desa Mio, NTT)". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran AC-WC menggunakan agregat dari Quarry Mio, serta menentukan kadar aspal optimum berdasarkan metode Marshall, guna menghasilkan perkerasan jalan yang lebih berkualitas dan sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

Diasumsikan bahwa gradasi menerus agregat campuran Nomor IV akan menghasilkan Laston AC-WC yang sesuai dengan standar teknis. Semakin optimal gradasi agregat, semakin baik stabilitas dan daya tahan campuran aspal. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan di NTT dengan material yang sesuai spesifikasi teknis.

Metode

Penelitian ini menggunakan Metode Marshall, yang merupakan standar dalam analisis campuran aspal beton, sesuai dengan SNI 03-6889-2002 terkait dengan pengambilan sampel material agregat. Metode ini digunakan untuk menentukan kadar aspal optimal serta menganalisis stabilitas dan kinerja campuran Laston AC-WC berdasarkan parameter Marshall.

Data Penelitian

Data primer diperoleh melalui pengujian laboratorium menggunakan material yang dikumpulkan dari PT. Tambang Nanda Karya Putra Pratama Mio. Data primer yang dikumpulkan meliputi pemeriksaan agregat yang terdiri dari batu pecah $\frac{3}{4}$ ", batu pecah $\frac{1}{2}$ ", dan agregat halus berupa pasir, serta pemeriksaan bahan pengisi (filler) dan analisis parameter Marshall untuk campuran aspal. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari hasil uji laboratorium aspal serta referensi teknis dari Spesifikasi dan SNI Bina Marga 2018, yang digunakan untuk membandingkan hasil penelitian dengan standar yang berlaku. Data sekunder yang digunakan mencakup hasil pemeriksaan penetrasi aspal, berat jenis aspal, serta daktilitas aspal guna memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Metode Statistik

Penelitian ini menggunakan teknik statistik inferensi dan analisis deskriptif untuk mengevaluasi karakteristik campuran aspal panas (Laston AC-WC). Hasil uji laboratorium dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) serta Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 guna memastikan bahwa hasil campuran memenuhi standar yang berlaku. Pengambilan sampel di lapangan

dilakukan dengan metode quartering, yaitu pemilihan sampel secara acak dari tumpukan agregat agar sampel yang diambil dapat mewakili keseluruhan material yang tersedia. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar berupa batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ ", masing-masing sebanyak ± 30 kg, agregat halus berupa pasir muara sebanyak ± 30 kg, serta filler abu batu sebanyak ± 30 kg. Selain itu, aspal yang digunakan merupakan aspal jenis Pertamina dengan penetrasi 60/70 sebanyak ± 10 kg.

Dalam proses pengujian laboratorium, jumlah benda uji yang digunakan terdiri dari 12 sampel campuran aspal, yang mencakup kombinasi dari aspal penetrasi 60/70, bahan pengisi (abu batu), agregat halus (pasir muara), serta agregat kasar batu pecah ukuran $\frac{1}{2}$ inci dan $\frac{3}{4}$ inci. Seluruh sampel ini akan diuji untuk menentukan karakteristik material, kadar aspal optimal, serta parameter Marshall yang sesuai dengan standar spesifikasi yang berlaku.

Waktu dan Lokasi Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di dua lokasi utama, yaitu di lapangan dan laboratorium. Pengambilan sampel di lapangan dilakukan di Quarry Ex Mio, Kabupaten TTS, pada bulan Maret 2023, untuk mendapatkan material yang akan digunakan dalam penelitian ini. Setelah itu, pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Pengujian PT Nanda Karya Putra Pratama, juga pada bulan Maret 2023, guna menguji karakteristik material dan memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis yang berlaku.

Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Gradasi

Inspeksi gradasi adalah proses menganalisis ukuran butir suatu material menggunakan kumpulan filter untuk mendapatkan ukuran butir yang sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Untuk memperoleh presentasi yang lolos saringan, dilakukan pemeriksaan gradasi dengan cara menyaring setiap bahan, antara lain bahan pengisi, agregat halus, dan agregat kasar. Dua buah benda uji yaitu benda uji I dan benda uji II digunakan dalam penilaian penilaian masing-masing materi dengan tujuan memperoleh nilai rata-rata. Hasil pemeriksaan penilaian terhadap SNI 03-1968-1990 disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 1 menunjukkan hasil pemeriksaan gradasi batu pecah $\frac{3}{4}$ ", di mana seluruh agregat lolos saringan $\frac{3}{4}$ " (100%), menandakan ukurannya lebih kecil dari 19 mm. Pada saringan $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm), sekitar 58,26% lolos, sedangkan pada saringan $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm), 17,33% lolos, menunjukkan distribusi agregat yang menurun seiring dengan ukuran saringan yang lebih kecil.

Pada saringan No.4 (4,75 mm), hanya 6,27% yang lolos, sementara pada saringan No.8 (2,38 mm), hampir seluruh material tertahan (99,99%), menunjukkan dominasi agregat kasar. Tidak ada material yang lolos pada saringan No.16 hingga No.200, yang berarti agregat ini memiliki kandungan partikel halus yang sangat rendah.

Tabel 2 menunjukkan hasil pemeriksaan gradasi batu pecah $\frac{1}{2}$ ", di mana seluruh agregat lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ " (100%), menandakan ukurannya lebih kecil dari 12,5 mm. Pada saringan $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm), sekitar 85,41% lolos, menunjukkan distribusi agregat yang lebih dominan pada ukuran lebih besar.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah 3/4"

Ukuran Saringan		Presentase Lolos Rata-Rata
ASTM	Mm	
3/4"	19.0	100.00
1/2"	12.5	58.26
3/8"	9.5	17.33
No.4	4.75	6.27
No.8	2.38	0.01
No.16	1.18	-

Pada saringan No.4 (4,75 mm), hanya 14,58% yang lolos, sementara pada saringan No.8 (2,38 mm), hampir seluruh material tertahan, dengan hanya 0,03% yang lolos, menandakan kandungan partikel halus yang sangat rendah. Tidak ada material yang lolos pada saringan No.16 (1,18 mm), menunjukkan bahwa batu pecah ini didominasi oleh agregat kasar.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah 1/2"

Ukuran Saringan		Presentase Lolos Rata-Rata
ASTM	Mm	
3/4"	19.0	100.00
1/2"	12.5	100.00
3/8"	9.5	85.41
No.4	4.75	14.58
No.8	2.38	0.03
No.16	1.18	-

Tabel 3 menunjukkan hasil pemeriksaan gradasi filler semen, yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh material lolos saringan ¾" hingga No.16 (100%), yang menandakan bahwa filler ini terdiri dari partikel halus yang lebih kecil dari 1,18 mm.

Pada saringan No.30 (0,600 mm), sekitar 98,04% lolos, menunjukkan bahwa sebagian kecil partikel mulai tertahan. Selanjutnya, pada saringan No.50 (0,300 mm) dan No.100 (0,150 mm), persentase lolos masing-masing adalah 94,97% dan 92,92%, yang menunjukkan distribusi material semakin halus. Pada saringan No.200 (0,075 mm), sekitar 86,80% material lolos, yang menandakan bahwa filler ini mengandung sebagian kecil partikel dengan ukuran sangat halus.

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Gradasi Filler Semen

Ukuran Saringan		Presentase Lolos Rata-Rata
ASTM	Mm	
3/4"	19.0	100.00
1/2"	12.5	100.00
3/8"	9.5	100.00
No.4	4.75	100.00
No.8	2.38	100.00
No.16	1.18	100.00
No.30	0.600	98.04
No.50	0.300	94.97
No.100	0.150	92.92
No.200	0.075	86.80

Tabel 4 menunjukkan hasil pemeriksaan gradasi abu batu, yang digunakan sebagai bahan pengisi (filler) dalam campuran aspal beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

seluruh material lolos saringan ¾", ½", 3/8", dan No.4 (100%), yang menandakan bahwa abu batu ini terdiri dari partikel yang lebih kecil dari 4,75 mm.

Pada saringan No.8 (2,38 mm), sekitar 72,14% material lolos, menandakan bahwa sebagian besar abu batu masih berupa agregat halus. Seiring dengan mengecilnya ukuran saringan, material yang lolos semakin berkurang, yaitu 52,27% pada saringan No.16 (1,18 mm), 34,43% pada saringan No.30 (0,600 mm), 23,61% pada saringan No.50 (0,300 mm), 15,54% pada saringan No.100 (0,150 mm), dan 12,55% pada saringan No.200 (0,075 mm).

Hasil ini menunjukkan bahwa abu batu memiliki komposisi butiran yang cukup halus, namun masih mengandung sebagian material kasar pada ukuran tertentu. Dengan distribusi ukuran ini, abu batu dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal beton, membantu meningkatkan kepadatan dan kestabilan campuran.

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Gradasi Abu Batu

Ukuran Saringan		Presentase Lolos Rata-Rata
ASTM	Mm	
3/4"	19.0	100.00
1/2"	12.5	100.00
3/8"	9.5	100.00
No.4	4.75	100.00
No.8	2.38	72.14
No.16	1.18	52.27
No.30	0.600	34.43
No.50	0.300	23.61
No.100	0.150	15.54
No.200	0.075	12.55

Tabel 5 menunjukkan hasil pemeriksaan gradasi pasir, yang digunakan sebagai agregat halus dalam campuran aspal beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh material lolos saringan ¾", ½", 3/8", dan No.4 (100%), yang menandakan bahwa pasir yang diuji memiliki ukuran lebih kecil dari 4,75 mm.

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir

Ukuran Saringan		Presentase Lolos Rata-Rata
ASTM	Mm	
3/4"	19.0	100.00
1/2"	12.5	100.00
3/8"	9.5	100.00
No.4	4.75	100.00
No.8	2.38	70.77
No.16	1.18	58.38
No.30	0.600	39.08
No.50	0.300	24.43
No.100	0.150	16.78
No.200	0.075	9.15

Pada saringan No.8 (2,38 mm), sekitar 70,77% material lolos, menandakan bahwa sebagian besar pasir masih berada dalam ukuran agregat halus. Seiring dengan mengecilnya ukuran saringan, persentase material yang lolos semakin berkurang, yaitu 58,38% pada saringan No.16 (1,18 mm), 39,08% pada saringan No.30 (0,600 mm), 24,43% pada saringan No.50 (0,300 mm), 16,78% pada saringan

No.100 (0,150 mm), dan 9,15% pada saringan No.200 (0,075 mm).

Hasil ini menunjukkan bahwa pasir memiliki distribusi butiran yang sesuai sebagai agregat halus dalam campuran aspal beton, dengan dominasi partikel berukuran menengah hingga halus. Dengan gradasi ini, pasir dapat membantu meningkatkan stabilitas, kepadatan, dan daya rekat campuran aspal, serta memenuhi spesifikasi standar yang dibutuhkan untuk perkerasan jalan.

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis dan daya serap komponen batu pecah $\frac{3}{4}$ ", batu pecah $\frac{1}{2}$ ", abu batu, dan pasir pada suatu campuran aspal. Hasil pemeriksaan berat jenis dan serapan dapat dilihat pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 9 dengan mengacu pada SNI 03-1969-2008 (agregat kasar) dan SNI 03-1970-2008 (agregat halus dan filler).

Tabel 6 menunjukkan hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pada batu pecah $\frac{3}{4}$ ". Berat jenis bulk (BJ Bulk) tercatat 2,581, yang mencerminkan kepadatan material dalam kondisi alami. Berat jenis SSD (BJ SSD) sebesar 2,638, menunjukkan berat jenis agregat dalam kondisi jenuh permukaan kering (Saturated Surface Dry). Berat jenis apparent (BJ Apparent) tercatat 2,737, yang menunjukkan kepadatan partikel tanpa mempertimbangkan pori-pori yang dapat menyerap air.

Selain itu, penyerapan air batu pecah $\frac{3}{4}$ " sebesar 2,209%, yang menunjukkan kemampuan agregat untuk menyerap air. Nilai ini penting dalam desain campuran aspal, karena agregat dengan tingkat penyerapan yang tinggi dapat mempengaruhi stabilitas dan daya tahan campuran aspal terhadap kelembaban.

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Batu Pecah $\frac{3}{4}$ "

Uraian	Rata-rata
BJ Bulk	2.581
BJ SSD	2.638
BJ Apparent	2.737
Penyerapan Air	2.209

Tabel 7 menunjukkan hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pada batu pecah $\frac{1}{2}$ ". Berat jenis bulk (BJ Bulk) tercatat 2,578, yang mencerminkan kepadatan agregat dalam kondisi alami. Berat jenis SSD (BJ SSD) sebesar 2,640, yang menunjukkan berat jenis dalam kondisi jenuh permukaan kering (Saturated Surface Dry), sedangkan berat jenis apparent (BJ Apparent) adalah 2,750, yang menggambarkan kepadatan partikel tanpa mempertimbangkan pori-pori yang dapat menyerap air. Penyerapan air sebesar 2,434% menunjukkan bahwa batu pecah $\frac{1}{2}$ " memiliki daya serap yang cukup tinggi, yang perlu diperhitungkan dalam campuran aspal untuk menghindari potensi kelembaban yang dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan.

Tabel 8 menunjukkan hasil pemeriksaan berat jenis abu batu yang digunakan sebagai filler dalam campuran aspal. Berat jenis bulk (BJ Bulk) tercatat 2,574, sedangkan BJ SSD adalah 2,648. Berat jenis apparent (BJ Apparent) lebih tinggi, yaitu 2,780, menunjukkan bahwa abu batu memiliki

kepadatan yang cukup baik sebagai bahan pengisi. Tidak adanya data penyerapan air mengindikasikan bahwa abu batu memiliki tingkat porositas yang lebih rendah dibandingkan agregat kasar lainnya, yang dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal.

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Batu Pecah $\frac{1}{2}$ "

Uraian	Rata-rata
BJ Bulk	2.578
BJ SSD	2.640
BJ Apparent	2.750
Penyerapan Air	2.434

Tabel 8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu

Uraian	Rata-rata
BJ Bulk	2.574
BJ SSD	2.648
BJ Apparent	2.78

Tabel 9 menunjukkan hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan pada pasir sebagai agregat halus dalam campuran aspal. BJ Bulk tercatat 2,566, BJ SSD sebesar 2,641, dan BJ Apparent mencapai 2,775, yang menunjukkan karakteristik fisik pasir dalam kondisi alami, jenuh permukaan kering, serta kepadatan murni tanpa mempertimbangkan pori-pori. Penyerapan air sebesar 2,934%, yang lebih tinggi dibandingkan batu pecah, menunjukkan bahwa pasir memiliki kapasitas penyerapan air yang lebih besar. Hal ini perlu diperhitungkan dalam campuran aspal untuk memastikan kadar air yang optimal guna menjaga stabilitas dan daya tahan perkerasan jalan.

Secara keseluruhan, hasil uji berat jenis dan penyerapan air menunjukkan bahwa batu pecah $\frac{1}{2}$ " dan pasir memiliki daya serap air yang lebih tinggi dibandingkan abu batu, yang dapat mempengaruhi desain campuran aspal. Abu batu memiliki berat jenis yang lebih tinggi, menjadikannya bahan pengisi yang baik dalam campuran aspal untuk meningkatkan kepadatan dan stabilitas perkerasan jalan.

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Uraian	Rata-rata
BJ Bulk	2.566
BJ SSD	2.641
BJ Apparent	2.775
Penyerapan Air	2.934

Pemeriksaan Abrasi atau Keausan Agregat Kasar

Bahan batu pecah yang telah melewati saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan oleh saringan $\frac{3}{8}$ " digunakan untuk pengujian ini. Pengujian ini menggunakan mesin Los Angeles untuk mengukur ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Tabel 10 menampilkan hasil uji abrasi terkait SNI 03-2417-2008. Hasil pemeriksaan abrasi agregat kasar menghasilkan nilai keausan sebesar 26,24%. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan aus yang cukup baik.

Tabel 10 Hasil Pemeriksaan Abrasi Agregat Kasar

Saringan				Gradasi Pemeriksaan	
Lolos	Ukuran Saringan	Tertahan	Ukuran Saringan	Jumlah Berat (I)	Jumlah Berat (II)
(ASTM)	(mm)	(ASTM)	(mm)	(Gram)	(Gram)
¾"	19,1	½"	12,7	2500	2500
½"	12,7	3/8"	9,5	2500	2500
Berat benda uji semula (Gram)				A	5000
Tertahan saringan No.12 (Gram)				B	3688
Keausan (%)				C	26,24
Keausan rata-rata (%)				26,24	
Keterangan : $c = ((a - b) / a) \times 100 \%$					

Data Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal 60/70 dilakukan di Laboratorium Pengujian Universitas Petra. Hasil pengujian menunjukkan aspal 60/70 memenuhi persyaratan Bina Marga Revisi II 2018. Tabel 11 dengan informasi hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 disajikan di bawah ini. Hasil uji penetrasi pada 25°C sebesar 64,17, yang masih berada dalam rentang standar 60-70, menunjukkan viskositas aspal yang sesuai untuk perkerasan jalan. Titik lembek (softening point) tercatat 49,35°C, melebihi batas minimum 48°C, yang menunjukkan ketahanan aspal terhadap deformasi akibat suhu tinggi. Titik nyala (flash point) mencapai 317,5°C, jauh di atas batas minimum 232°C, yang menandakan keamanan aspal terhadap potensi pembakaran saat dipanaskan.

Uji daktilitas pada 25°C menunjukkan hasil >100 cm, memenuhi standar minimum 100 cm, yang mencerminkan fleksibilitas aspal yang baik. Berat jenis aspal sebesar 1,0091 gr/cm³, memenuhi persyaratan minimum 1,0 gr/cm³, yang menunjukkan densitas aspal yang sesuai. Kelarutan dalam Triclor Etylen sebesar 99,517%, melampaui standar minimum 99%, yang menandakan kemurnian aspal yang tinggi.

Uji kehilangan berat setelah pemanasan (Thin Film Oven Test - TFOT) hanya 0,0417%, jauh di bawah batas maksimum 0,8%, yang berarti aspal memiliki ketahanan oksidasi yang sangat baik. Penetrasi setelah TFOT sebesar 95,06% dari nilai awal, melebihi standar minimum 54%, menunjukkan kestabilan viskositas aspal setelah pemanasan. Daktilitas setelah TFOT tetap >100 cm, sesuai dengan standar >100

cm, yang menunjukkan bahwa aspal tetap elastis setelah pemanasan.

Tidak ada data untuk kadar parafin dalam aspal, namun standar menetapkan batas maksimum 2%. Secara keseluruhan, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa aspal yang diuji memenuhi seluruh persyaratan standar, sehingga layak digunakan dalam campuran perkerasan jalan.

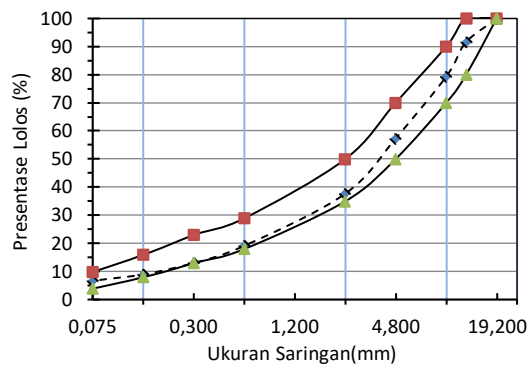
Rancangan Gradasi Agregat Campuran atau Gabungan

Material hasil galian Quarry Mio memenuhi standar spesifikasi yang dipersyaratkan, sehingga layak digunakan sebagai material campuran Laston AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) berdasarkan hasil pengujian gradasi, keausan, berat jenis, dan serapan. Quarry Mio, yang terletak di Desa Mio, Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), Nusa Tenggara Timur (NTT), merupakan sumber utama agregat yang digunakan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, gradasi kontinu merupakan pilihan yang sesuai untuk campuran aspal panas Laston, karena dapat menghasilkan distribusi agregat yang optimal dalam campuran. Selanjutnya, perkiraan kadar aspal (Pb) dapat ditentukan dengan menghitung proporsi masing-masing penyusun dalam agregat gabungan untuk memastikan kualitas campuran yang memenuhi standar teknis. Hasil penilaian agregat gabungan ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 1 menampilkan grafik yang menunjukkan bahwa gradasi kontinu pemilihan agregat campuran Nomor IV memenuhi persyaratan.

Tabel 11 Hasil pengujian

No	Jenis pengujian	Methode	Hasil Uji Lab	Syarat
1	Penetrasi 25°C 100 gr 5 detik	"SNI 06-2456-2011"	64.17	60-70
2	Titik Lembek (Softening Point)	"SNI 06-2434-2011"	49.35	Min. 48°C
3	Titik Nyala (Flash Point)	"SNI 06-2433-2011"	317.5	Min. 232°C
4	Daktilitas 25°C 5 cm	"SNI 06-2432-2011"	> 100	> 100 cm
5	Berat Jenis	"SNI 06-2441-2011"	1.0091	Min. 1.0 gr/cm ³
6	Kelarutan Aspal dalam Triclor Etylen	"SNI 06-2438-1991"	99.517	Min. 99%
7	Kehilangan Berat (Thin Film)	"SNI 06-2440-1991"	0.0417	Max. 0.8%
8	Penetrasi setelah TFOT	"SNI 06-2456-2011"	95.06	> 54% asli
9	Daktilitas setelah TFOT	"SNI 06-2432-2011"	> 100	> 100 cm
10	Kadar Parafin dalam Aspal	"SNI 03-3639-1994"	-	Max. 2%



Gambar 1 Grafik Gradasi Gabungan

Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb) dan Rancangan Benda Uji

Setelah ditentukan gradasi agregat gabungan masing-masing agregat yang memenuhi standar, maka dapat dihitung proyeksi kadar aspalnya. Perhitungan berikut digunakan untuk mendapatkan kadar aspal yang diantisipasi:

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

Keterangan :

- Pb : Kadar aspal rencana
- CA : Proporsi fraksi kasar (100 – % lolos saringan No.8)
- MA : Proporsi fraksi halus (% lolos saringan No.8–% lolos saringan No.200)
- FA : Proporsi fraksi bahan pengisi (% lolos saringan No.200)
- K : Konstanta untuk Laston (0,5 – 1,0)

Komposisi masing-masing agregat diperoleh dari hasil analisa ayakan agregat gabungan yang ditunjukkan pada Tabel 12. Berikut perhitungan kadar aspal yang dimaksud.

$$\begin{aligned} CA &= 100 - 37.60 = 62.40 \% \\ MA &= 37.60 - 6.76 = 30.84 \% \\ FA &= 6.76 \% \\ K &= 1 \% \end{aligned}$$

Rumus preset digunakan untuk menghitung proyeksi nilai kadar aspal setelah nilai fraksi agregat diketahui.

$$\begin{aligned} Pb &= 0,035 (63.40\%) + 0,045 (30.84) + 0,18 (6.76) + 1 \\ Pb &= 5,79 \% \approx 6.0 \% \end{aligned}$$

Besarnya kadar aspal yang digunakan untuk membuat benda uji adalah 5,5%, 5,0%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, dan 7,5%. Hal ini dikarenakan nilai kadar aspal yang diperoleh adalah 5,79% dan dibulatkan menjadi 6,0%.

Pengujian Marshall

Prosedur pengujian Marshall mengikuti persyaratan dalam SNI 06-2489-1991. Pengujian ini menggunakan instrumen Marshall Test yang bertujuan untuk menetapkan parameter Marshall guna menilai kinerja aspal padat.

Hubungan Parameter Marshall dengan Kadar Aspal

a. Stabilitas

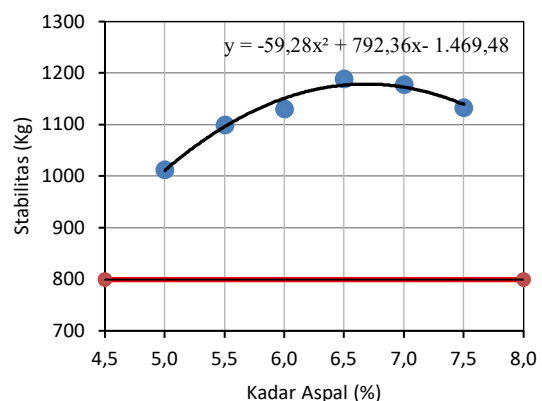
Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas tanpa terjadinya distorsi. Pada pengujian Marshall, pengujian stabilitas

digunakan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap beban. Hasil analisis dirangkum pada Tabel 12 dan diplot pada Gambar 2.

Tabel 12 Nilai Hubungan antara kadar aspal dan stabilitas

Kadar Aspal (%)	Rata-Rata (kg)	Spesifikasi	Keterangan
5.0	1,012.59	Min 800 kg	✓
5.5	1,099.22	Min 800 kg	✓
6.0	1,131.08	Min 800 kg	✓
6.5	1,189.43	Min 800 kg	✓
7.0	1,178.21	Min 800 kg	✓
7.5	1,133.33	Min 800 kg	✓

Keterangan ✓ = Memenuhi



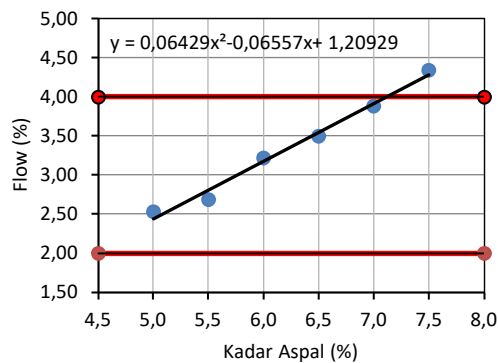
Gambar 2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Stabilitas

b. Kelelahan (Flow)

Kemampuan suatu perkerasan jalan untuk menahan tekanan dari waktu ke waktu tanpa mengalami perubahan bentuk, seperti retakan dan alur, disebut kelelahan. Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan nilai flow (%) dalam campuran aspal beton. Grafik ini menampilkan tren peningkatan nilai flow seiring dengan bertambahnya kadar aspal, yang ditunjukkan oleh garis regresi kuadratik dengan persamaan $y = 0,06429x^2 - 0,06557x + 1,20929$.

Titik-titik biru merepresentasikan hasil pengujian laboratorium, sementara garis hitam menunjukkan kecenderungan peningkatan flow dengan bertambahnya kadar aspal. Garis merah horizontal menunjukkan batas spesifikasi standar, di mana nilai flow harus berada dalam kisaran 2,0% hingga 4,0% agar campuran aspal tetap stabil dan tidak terlalu lunak atau kaku.

Berdasarkan grafik, nilai flow untuk kadar aspal di atas sekitar 7,5% cenderung melebihi batas spesifikasi (4,0%), yang dapat menyebabkan deformasi berlebih pada perkerasan jalan. Sebaliknya, kadar aspal di bawah 5,0% menghasilkan flow mendekati batas bawah (2,0%), yang berisiko membuat campuran menjadi terlalu kaku dan rapuh. Oleh karena itu, kadar aspal yang optimal harus berada dalam rentang di mana nilai flow tetap berada dalam batas spesifikasi.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Flow

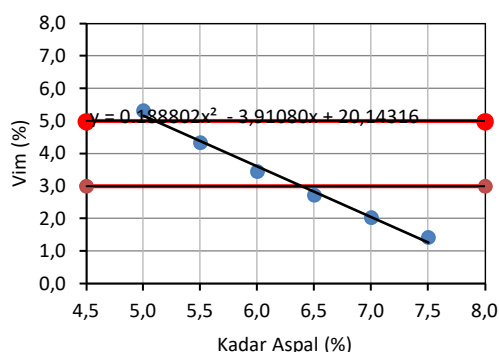
c. Rongga dalam Campuran (VIM)

Banyaknya rongga pada kombinasi butiran agregat yang menutupi aspal disebut dengan *Void in Mix* atau VIM. Pada persyaratan Bina Marga Revisi II Tahun 2018, diperlukan nilai VIM minimal 3,5% dan maksimal 5,0% untuk tes *Marshall*.

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan Void in Mix (VIM, %) dalam campuran aspal beton. Grafik ini memperlihatkan tren penurunan nilai VIM seiring dengan peningkatan kadar aspal, yang ditunjukkan oleh garis regresi kuadratik dengan persamaan $y = 0,18802x^2 - 3,91080x + 20,14316$.

Titik-titik biru mewakili hasil pengujian laboratorium, sementara garis hitam menunjukkan kecenderungan penurunan VIM seiring bertambahnya kadar aspal. Garis merah horizontal menggambarkan batas spesifikasi standar, di mana nilai VIM harus berada dalam kisaran 3,0% hingga 5,0% agar campuran memiliki keseimbangan antara kepadatan dan porositas.

Dari grafik, terlihat bahwa pada kadar aspal di atas 7,0%, nilai VIM turun di bawah batas minimum 3,0%, yang menunjukkan campuran terlalu padat dan berisiko terhadap bleeding (kelebihan aspal). Sebaliknya, pada kadar aspal di bawah 5,0%, nilai VIM mendekati atau melebihi batas atas 5,0%, yang dapat menyebabkan campuran menjadi lebih berpori dan kurang tahan terhadap beban lalu lintas.



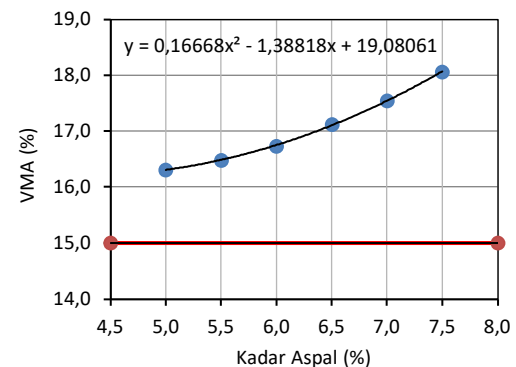
Gambar 4 Grafik Nilai Hubungan Kadar Aspal dan VIM

d. Rongga dalam agregat (VMA)

Banyaknya kekosongan agregat pada beton aspal padat, termasuk yang diisi aspal, disebut dengan rongga dalam agregat mineral (VMA). Dinyatakan nilai persentase VMA. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kadar

aspal (%) dan Void in Mineral Aggregate (VMA, %) dalam campuran aspal beton. Grafik ini menunjukkan tren peningkatan VMA seiring bertambahnya kadar aspal, dengan persamaan regresi $y = 0,16668x^2 - 1,38818x + 19,08061$.

Seluruh nilai VMA berada di atas batas minimum 15% (garis merah), yang menunjukkan bahwa campuran memiliki rongga agregat yang cukup untuk mengikat aspal dengan baik. Seiring peningkatan kadar aspal, VMA juga meningkat, menandakan keseimbangan antara stabilitas dan fleksibilitas campuran aspal tetap terjaga sesuai spesifikasi.

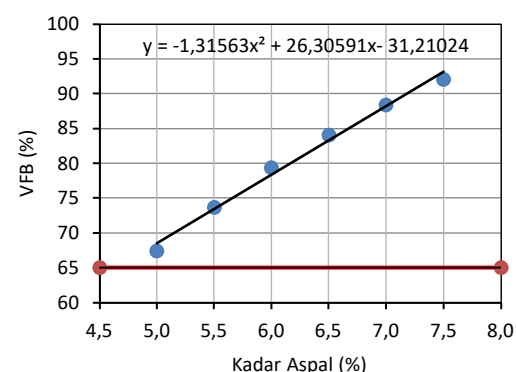


Gambar 5 Grafik Nilai Hubungan Kadar Aspal dan VMA

e. Rongga terisi aspal (VFB)

Banyaknya rongga dalam campuran yang diisi aspal disebut rongga terisi aspal atau disingkat VFB. Persyaratan nilai VFB pada spesifikasi Bina Marga Revisi II 2018 minimal sebesar 65%. Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kadar aspal (%) dan Void Filled with Bitumen (VFB, %) dalam campuran aspal beton. Grafik ini menunjukkan tren peningkatan VFB seiring bertambahnya kadar aspal, dengan persamaan regresi $y = -1,31563x^2 + 26,30591x - 31,21024$.

Seluruh nilai VFB berada di atas batas minimum 65% (garis merah), menunjukkan bahwa rongga dalam agregat semakin terisi oleh aspal seiring peningkatan kadar aspal. Kenaikan VFB yang signifikan pada kadar aspal tinggi menunjukkan peningkatan kepadatan campuran, yang dapat meningkatkan daya tahan terhadap deformasi. Campuran aspal dalam grafik ini memenuhi spesifikasi VFB yang diperlukan untuk memastikan kestabilan dan ketahanan terhadap beban lalu lintas.



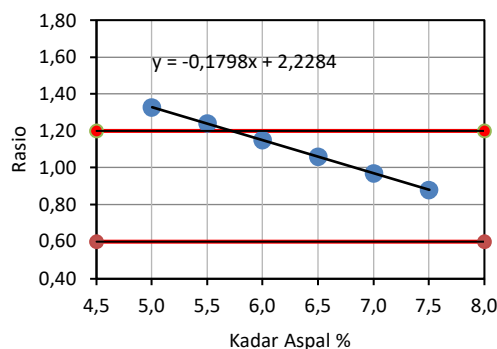
Gambar 6 Grafik Nilai Hubungan Kadar Aspal dan VFB

f. Rasio

Partikel yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dibagi dengan kadar aspal efektif untuk mendapatkan perbandingan. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kadar aspal (%) dan rasio stabilitas terhadap flow dalam campuran aspal beton. Grafik ini memperlihatkan tren penurunan rasio seiring dengan meningkatnya kadar aspal, yang direpresentasikan oleh persamaan regresi $y = -0,1798x + 2,2284$.

Garis merah horizontal menunjukkan batas spesifikasi rasio, yaitu minimum 0,6 dan maksimum 1,2. Pada kadar aspal yang lebih tinggi (di atas 7,0%), rasio cenderung menurun mendekati batas bawah, yang dapat mengindikasikan campuran aspal menjadi lebih lunak dan rentan terhadap deformasi. Sebaliknya, pada kadar aspal yang lebih rendah, rasio mendekati batas atas, yang menandakan campuran lebih kaku.

Hasil ini menunjukkan bahwa kadar aspal yang optimal harus berada dalam rentang yang menjaga rasio stabilitas terhadap flow tetap dalam batas spesifikasi, untuk memastikan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran aspal.



Gambar 7 Grafik Nilai Hubungan Kadar Aspal dan Rasio

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Tabel 13 menunjukkan rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi berdasarkan parameter Marshall dalam campuran aspal beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas minimum 800 kg tercapai dalam rentang 5,0% - 7,5% kadar aspal. Kelelahan (flow) minimum 3 mm tercapai dalam rentang 5,0% - 7,1%. Void in Mix (VIM), yang harus berada dalam kisaran 3% - 5%, memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,2% - 6,3%.

Sementara itu, Void in Mineral Aggregate (VMA) minimal 15%, Void Filled with Bitumen (VFB) minimal 65%, serta rasio stabilitas terhadap flow dalam rentang 0,6 - 1,2, semuanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,0% - 7,5% (untuk VMA dan VFB) dan 5,7% - 7,5% (untuk rasio).

Dari tabel ini, dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum berada dalam rentang 5,2% - 6,3%, di mana semua parameter tetap dalam batas spesifikasi yang disyaratkan, memastikan keseimbangan antara stabilitas, fleksibilitas, dan daya tahan campuran aspal terhadap beban lalu lintas.

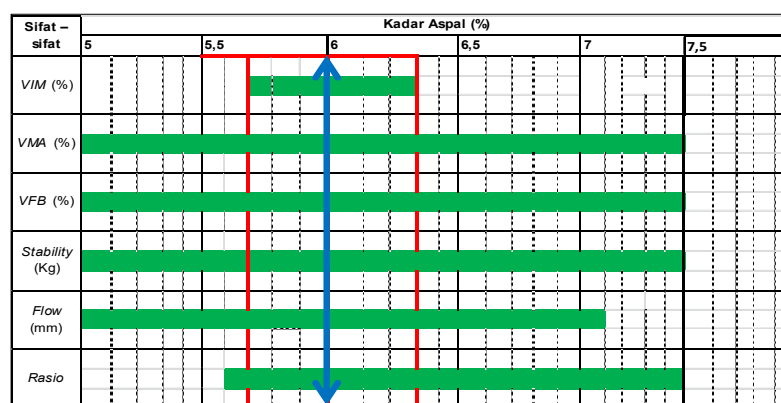
Dari seluruh rentang kadar aspal yang memenuhi standar, kadar aspal optimal yang memberikan nilai terbaik. Berdasarkan korelasi seluruh parameter Marshall dan nilai hasil pengujian, komposisi aspal yang ideal dapat ditentukan dengan menggunakan diagram batang.

Tabel 13 Rentang Kadar aspal yang Memenuhi Spesifikasi

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang Kadar Aspal yang Memenuhi Spesifikasi
Stabilitas (Kg)	Min 800 Kg	5.0% - 7.5%
Kelelahan (mm)	Min 3 mm	5.0 % - 7.1 %
VIM (%)	Min 3 % Maks 5 %	5.2 % - 6.3 %
VMA (%)	Min 15 %	5.0 % - 7.5 %
VFB (%)	Min 65 %	5.0 % - 7.5%
Rasio	0.6-1.2	5.7% - 7.5%

Gambar 8 menunjukkan penentuan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan parameter Marshall dalam campuran aspal beton. Grafik ini menampilkan berbagai parameter Marshall, seperti stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan rasio stabilitas terhadap flow, dengan batas spesifikasi yang ditandai oleh garis hijau horizontal.

Dari gambar ini, kadar aspal optimum (KAO) terletak pada titik di mana seluruh parameter masih berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan. Hal ini memastikan bahwa campuran aspal memiliki kekuatan struktural yang cukup, fleksibilitas yang baik, dan ketahanan terhadap deformasi atau retak akibat lalu lintas. Gambar 8 menunjukkan bahwa parameter Marshall menghasilkan Kadar Aspal Optimal (KAO) sebesar 6,0%.



Gambar 8 Kadar Aspal Optimum

Nilai Parameter Marshall pada Kadar Aspal Optimum

Rumus dari setiap grafik nilai parameter Marshall digunakan dalam perhitungan untuk menentukan nilai parameter Marshall, dengan nilai x adalah KAO 6,0 maka didapatkan nilai-nilai parameter seperti terlihat pada Tabel 14.

Hasil uji menunjukkan bahwa stabilitas campuran aspal mencapai 1150,65 kg, jauh di atas batas minimum 800 kg, menandakan daya tahan yang baik. Kelelahan sebesar 3,13 mm, memenuhi batas minimum 3 mm, menunjukkan fleksibilitas yang cukup. VIM sebesar 3,48% masih dalam rentang 3%-5%, rongga udara cukup untuk mencegah bleeding atau retak. VMA sebesar 16,75% lebih tinggi dari batas minimum 15%, memastikan ruang yang cukup untuk aspal. Void Filled with Bitumen (VFB) sebesar 79,26%, melebihi standar 65%, menunjukkan aspal mengisi rongga dengan baik tanpa membuat campuran terlalu padat. Rasio stabilitas terhadap *flow* sebesar 1,15, sesuai dengan standar 0,60-1,20, yang menunjukkan keseimbangan antara stabilitas dan fleksibilitas campuran. Seluruh parameter memenuhi spesifikasi (✓), sehingga campuran aspal pada KAO layak digunakan untuk perkerasan jalan.

Tabel 14 Rangkuman Nilai Parameter Marshall pada KAO

Parameter	Satuan	Nilai	Spesifikasi	Ket.
Stabilitas	Kg	1150,65	Min 800	✓
Kelelahan	Mm	3,13	Min 3	✓
VIM	%	3,48	Min 3,5 Maks 5	✓
VMA	%	16,75	Min 15	✓
VFB	%	79,26	Min 65	✓
Rasio	-	1,15	0,60 - 1,20	✓

Tabel 15 menunjukkan rangkuman hasil uji campuran Laston AC-WC, yang mencakup proporsi masing-masing komponen agregat dalam campuran aspal beton dan membandingkannya dengan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa batu pecah $\frac{3}{4}$ " digunakan sebesar 18,80%, batu pecah $\frac{1}{2}$ " sebesar 26,32%, abu batu sebesar 33,84%, dan filler semen sebesar 0,94%, tanpa batas spesifikasi yang ditentukan. Pasir muara memiliki proporsi 14,10%, masih dalam batas maksimum 15%, sesuai dengan spesifikasi (ditandai dengan ✓). Selain itu, kadar aspal dalam campuran adalah 6,0%, yang merupakan kadar optimum berdasarkan hasil pengujian Marshall.

Tabel 15 Rangkuman Hasil Uji Campuran Laston AC-WC

Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2	Ket.
Batu Pecah $\frac{3}{4}$ "	%	18,80	-	
Batu Pecah $\frac{1}{2}$ "	%	26,32	-	
Pasir Muara	%	14,10	Maks 15 %	✓
Abu Batu	%	33,84	-	
Filler Semen	%	0,94	-	
Kadar Aspal	%	6,0	-	

Tabel 16 merangkum hasil uji campuran total Laston AC-WC, mencakup berbagai sifat fisik campuran aspal dan membandingkannya dengan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar aspal total sebesar 6,0%, dengan bahan anti pengelupasan 0,30%, yang berada dalam batas spesifikasi 0,20 - 0,40% (✓).

Tabel 16 Rangkuman Hasil Uji Campuran Total

Sifat-Sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2	Keterangan
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Kadar Aspal Total	%	6,0	-	
Bahan Anti Pengelupasan	%	0,30	0,20-0,40	✓
Berat Jenis Maksimum Campuran (<i>Gmm</i>)	-	2,367	-	
Berat Jenis Aspal	-	1,030	≥ 1	✓
Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,580	-	
Proporsi Agregat	%	94,00	-	
Penyerapan Aspal	%	0,016	Maks. 1,2	✓
Kadar Aspal Efektif	%	5,984	Min. 5,1	✓
Berat Jenis Contoh Camp. Padat (<i>Gmb</i>)	-	2,285	-	
Stabilitas Marshall	Kg	1150,65	Min. 800	✓
Kelelahan Marshall	Mm	3,13	Min. 3	✓
Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,48	3,5 – 5,0	✓
Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,75	Min. 15	✓
Rongga terisi aspal (VFB)	%	79,26	Min. 65	✓
Rongga Dalam Campuran Pada Kepadatan Membal	%	2,22	Min. 2	✓
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	-	1,15	0,60-1,20	✓

Keterangan ✓ = Memenuhi, ✗ = Tidak Memenuhi, () = Tidak disyaratkan

Berat jenis aspal 1,030, yang memenuhi spesifikasi >1 (v), sementara berat jenis bulk agregat 2,580 dan proporsi agregat 94%, tidak memiliki batas spesifikasi tertentu. Penyerapan aspal sangat rendah, hanya 0,016%, jauh di bawah batas maksimum 1,2% (v), menunjukkan campuran memiliki kepadatan yang baik. Kadar aspal efektif sebesar 5,984%, yang memenuhi syarat minimum 5,1% (v).

Dalam uji Marshall, stabilitas mencapai 1150,65 kg, melebihi batas minimum 800 kg (v), dan keelehan (flow) sebesar 3,13 mm, memenuhi batas minimum 3 mm (v). Rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3,48%, sesuai dengan rentang 3,5 – 5,0% (v), sementara rongga dalam agregat (VMA) sebesar 16,75%, lebih tinggi dari batas minimum 15% (v). Rongga terisi aspal (VFB) sebesar 79,26%, memenuhi standar min. 65% (v), serta rongga dalam campuran pada kepadatan membal sebesar 2,22%, memenuhi batas min. 2% (v).

Secara keseluruhan, hasil uji menunjukkan bahwa campuran Laston AC-WC memenuhi semua spesifikasi teknis yang dipersyaratkan, sehingga layak digunakan untuk perkerasan jalan dengan keseimbangan antara stabilitas, fleksibilitas, dan daya tahan terhadap beban lalu lintas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penyelidikan dan perhitungan, campuran Laston AC-WC dirancang menggunakan gradasi agregat nomor IV, terdiri dari batu pecah $\frac{3}{4}$ " (20%), batu pecah $\frac{1}{2}$ " (28%), abu batu (36%), pasir (15%), dan filler semen (1%).

Uji Marshall menunjukkan bahwa stabilitas memenuhi syarat minimal 800 kg, sementara flow hanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,0% - 7,0%. VIM memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,5% dan 6,0%, sedangkan kadar lainnya tidak memenuhi batas 3,0% - 5,0%. VMA dan VFB memenuhi syarat pada semua kadar aspal, masing-masing dengan batas $\geq 15\%$ dan $\geq 65\%$. Rasio stabilitas terhadap flow memenuhi syarat pada kadar aspal 6,0% ke atas, tetapi tidak untuk kadar aspal 5,0% dan 5,5%.

Dengan demikian, kadar aspal optimum (KAO) yang direkomendasikan adalah 6,0%, menghasilkan stabilitas 1150,65 kg, flow 3,13 mm, rasio 1,15, VIM 3,48%, VMA

16,75%, dan VFB 79,26%, yang memenuhi semua spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II.

Referensi

- Ariyanti, D., Sutrisno, W., & Haza, Z. F. (2018). Pengaruh komposisi agregat kasar terhadap campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). *RENOVASI: Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil*, 7(February).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). *Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat*, Oktober, 1036.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston) Menggunakan Slag. *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil, Pd 05- 2018- B SE*, 1–42.
- Laitupa, L., Siahaya, V., & Huwae, D. D. (2022). Analisis Campuran Kerja (Jmd) dari Rancangan Campuran Aspal Ac-Wc pada Rekonstruksi Ruas Jalan Taniwel Saleman. *Journal Agregate*, 1(1).
- Lebang, N. L., & Lewaherilla, N. M. Y. (2021). Analisa stabilitas campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dan karet alam sebagai material perkerasan jalan. *Jurnal Manumata*, 7(2), 140.
- SNI 06-2489. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. *Badan Standardisasi Nasional*, 1, 7.
- SNI 03-1737. (1989). Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) Untuk Jalan Raya, *Departemen Pekerjaan Umum*.
- Suhardi, S., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah botol plastik. *Jurnal Riset dan Studi di Bidang Teknik Sipil (JRSDD)*, 4(2), 284-293.
- Sukirman, S (2003) Beton Aspal Campuran Panas, *Penerbit Nova Bandung*.