

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC) MENGGUNAKAN ASBUTON PRACAMPUR DAN AGREGAT GORONTALO

Eko Prasetyo¹, Frice L. Desei^{2*} dan Fadly Achmad³

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo², Indonesia³ Jl. B.J. Habibie Desa Moutong Kec. Tilongkabila Kab. Bone Bolango Fax. (0435) 821752

*Corresponding Author, Received: Ags 2023, Revised: Oct 2023, Accepted: Dec 2023

INTISARI: Indonesia memiliki cadangan aspal alam terbesar di dunia berupa aspal gunung, dikenal sebagai asbuton, yang terdapat di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik asbuton pracampur dan agregat Gorontalo serta karakteristik Marshall campuran AC-BC menggunakan kedua bahan tersebut. Metode yang digunakan adalah Marshall Test untuk memastikan campuran aspal panas memenuhi spesifikasi teknik Direktorat Jenderal Bina Marga. Aspal buton pracampur memiliki berat jenis 1,036, nilai penetrasi 54 mm, titik lembek 55,5°C, dan hasil ekstraksi menunjukkan 98% bitumen dan 2% mineral. Karakteristik agregat meliputi: Coarse Aggregate (CA) dengan berat jenis 2,56, nilai abrasi 24,84%, nilai angularitas 99,32/98,84%, absorpsi 1,27%, kelekatan agregat terhadap aspal >95%, dan material lolos saringan No.200 sebesar 0,6%. Medium Aggregate (MA) memiliki berat jenis 2,54, nilai abrasi 27,51%, nilai angularitas 99,32/98,84%, absorpsi 1,74%, kelekatan agregat terhadap aspal >95%, dan material lolos saringan No.200 sebesar 0,9%. Fine Aggregate (FA)/abu batu memiliki berat jenis 2,42, absorpsi 1,32%, sand equivalent 75,76%, dan material lolos saringan No.200 sebesar 9,92%. Pasir memiliki berat jenis 2,40, absorpsi 2,28%, dan material lolos saringan No.200 sebesar 2,03%. Semua nilai karakteristik aspal dan agregat memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Nilai KAO AC-BC asbuton pracampur adalah 5,25%. Karakteristik Marshall menggunakan KAO 5,25% menunjukkan kepadatan 2,22 gr/cm³, VIM 4,95%, VMA 14,63%, VFA 66,19%, stabilitas 1.310,20 kg, flow 2,54 mm, dan Marshall Quotient 515,83 kg/mm. Disimpulkan bahwa campuran asbuton pracampur dan agregat Gorontalo memiliki stabilitas tinggi, cocok untuk jalan yang melayani lalu lintas berat dan padat.

Kata Kunci: Asbuton pracampur, Campuran AC-BC, Pengujian *Marshall*

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki cadangan aspal alam terbesar di dunia berupa aspal gunung, dikenal sebagai asbuton (Aspal Batu Buton), yang terdapat di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Cadangan ini cukup untuk memenuhi kebutuhan pembangunan dan pemeliharaan jalan sebagai substitusi aspal minyak. Namun, pemanfaatannya belum optimal. Penggunaan asbuton masih sedikit, meskipun kebutuhan aspal di Indonesia mencapai 1,2 hingga 2 juta ton per tahun, dengan sekitar setengahnya diimpor. Deposit asbuton yang mencapai 677,247 juta ton seharusnya bisa memenuhi kebutuhan aspal di Indonesia. Meski berbagai produk olahan asbuton telah dihasilkan, pemanfaatannya di bidang perkerasan jalan masih kurang. Jika pemanfaatan asbuton meningkat, impor aspal bisa dikurangi, memberikan berbagai keuntungan lainnya. [1] [2].

Pada perkerasan lentur, asbuton dapat digunakan sebagai bahan tambah atau substitusi aspal minyak. Sebagai bahan tambah, asbuton meningkatkan mutu dan ketahanan aspal minyak terhadap beban lalu lintas dan suhu panas. Sebagai

substitusi, asbuton dapat menggantikan sebagian atau seluruh aspal minyak. Asbuton telah diproduksi dalam berbagai bentuk, salah satunya adalah asbuton pracampur (preblended), yang merupakan campuran asbuton ekstraksi dengan aspal minyak dalam komposisi tertentu. Asbuton pracampur berfungsi sebagai bahan pengikat dan pengisi rongga dalam campuran, diharapkan dapat mencegah kerusakan pada jalan yang melayani beban lalu lintas berat dan suhu tinggi. Untuk mengurangi penggunaan aspal minyak, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik asbuton pracampur dan agregat Gorontalo serta karakteristik Marshall campuran AC-BC yang menggunakan asbuton pracampur dan agregat Gorontalo.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Bahan-Bahan Dasar Perkerasan Lentur

2.1.1 Agregat

Hasil pemecahan batu menghasilkan berbagai ukuran butir sesuai dengan kebutuhan gradasi komponen perkerasan, termasuk abu batu sebagai bahan filler. Filler juga dapat berasal dari abu

semen dan abu kapur, yang memiliki sifat absorpsi yang harus diperhatikan. Kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan ditentukan oleh gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan aspal. Gradasi agregat sangat mempengaruhi kualitas perkerasan secara keseluruhan [3][4].

2.1.2 Aspal

Aspal adalah bahan pembentuk lapis permukaan pada perkerasan lentur dan komposit serta sebagai pengikat dalam stabilitas tanah dasar. Terbuat dari penyaringan minyak mentah, di Amerika Utara disebut semen aspal dan di Eropa disebut bitumen. Di Indonesia, digunakan aspal penetrasi 60/70 untuk jalan dengan lalu lintas berat dan aspal penetrasi 80/100 untuk jalan dengan kelas ringan hingga sedang [5][6].

2.2 Karakteristik Campuran Beton Aspal

Tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan mudah untuk dilaksanakan [4].

2.3 Campuran Beton Aspal AC-BC

Lapisan AC-BC terletak pada lapis permukaan pada bagian perkerasan yang berfungsi mengurangi tegangan dan menahan beban akibat beban lalu lintas, sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

2.4 Asbuton Pracampur

Asbuton ditemukan pada tahun 1924 di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara oleh geolog Belanda, WH Hetzel. Menurut Kementerian PUPR 2010, Indonesia memiliki deposit asbuton sebesar 650 juta ton, setara dengan 170 juta ton aspal minyak, cukup untuk memenuhi kebutuhan aspal selama ± 170 tahun [7]. Berdasarkan karakteristik bitumen secara umum asbuton dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu asbuton dari Kabungka dan asbuton dari Lawele [8].

Asbuton pracampur (preblended) adalah jenis teknologi asbuton yang digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal. Asbuton pracampur merupakan campuran antara asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian (semi ekstraksi) sehingga kadar bitumen naik menjadi 60% - 90%. [9]. Ketentuan sifat-sifat untuk Asbuton Pracampur ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Lapis aspal beton adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu.

Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang, sampai berat [5]. Campuran yang menggunakan bahan tambah menggunakan aspal buton dikelompokkan kedalam campuran beraspal panas modifikasi [10]. Sifat-sifat campuran laston modifikasi ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 1 Ketentuan Sifat-sifat Asbuton Pracampur

No	Jenis pengujian	Metode pengujian	Asbuton Pra Campur
1	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50-60
2	Viskositas pada 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	350-3000
3	Titik lembek (°C)	SNI 2432:2011	≥ 50
4	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	SNI 2438:2015	≥ 90
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
8	Partikel yang lebih halus dari 150 µm (%)	SNI 03-4142-1996	≥ 95
Pengujian residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002)			
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
10	Penetrasi pada 25° C (%)	SNI 2456:2011	≥ 54
11	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
12	Kadar parafin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2

Tabel 2 Sifat-sifat Campuran AC Mod

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukkan perbidang	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0.075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6	
	Maks	1,6	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0	
	Maks	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000	2250
Pelelehan (mm)	Min.	2	3
	Maks	4	6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2	
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min.	2500	

2.5 Pemeriksaan Aspal

Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan berat jenis
2. Pemeriksaan penetrasi aspal
3. Pengujian titik lembek aspal
4. Pemeriksaan titik nala dan titik bakar
5. Pemeriksaan daktilitas aspal
6. Ekstraksi

2.6 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana dapat diperoleh dari Persamaan:

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \quad (1)$$

dengan:

Pb : perkiraan kadar aspal optimum (%),
 CA: nilai presentase agregat kasar (%),
 FA : nilai presentase agregat halus (%),
 FF : nilai presentase Filler,
 K : konstanta 0,5-1,0 untuk AC.

2.7 Parameter Marshall

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah nilai stability dan flow yang dibaca langsung pada alat Marshall. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Parameter lain yang penting adalah berat isi (density), perhitungan berbagai jenis volume rongga dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFA), perhitungan tebal selimut/film dan Marshall quotient [3].

2.7.1 Penentuan Kerapatan (Density)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan.

$$density = \frac{\text{berat benda uji (gr)}}{\text{volume benda uji (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

2.7.2 Pengujian Kelelahan (Flow)

Flow adalah besarnya bentuk plastis beton aspal padat akibat adanya beban sampai keruntuhan.

2.7.3 Volume Pori dalam Agregat Campuran (VMA)

VMA/Voids in the Mineral Aggregate adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat atau volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = \left[100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right] \quad (3)$$

dengan:

VMA : rongga udara pada mineral agregat, persen terhadap volume total campuran (%),
 Gmb : berat jenis bulk dari beton aspal padat,
 Ps : kadar agregat persen terhadap berat total campuran (%),
 Gsb : berat jenis bulk agregat

2.7.4 Volume Pori dalam Beton Aspal Padat (VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (VIM/Voids in Mix) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat, sifat ini merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan.

$$VIM = \left[100 - \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \right] \quad (4)$$

dengan:

VIM : rongga udara pada campuran setelah pemadatan, persen terhadap volume total campuran (%),
 Gmb : berat jenis campuran setelah pemadatan,
 Gmm : berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan.

2.7.5 Volume Pori antara Butir Agregat terisi Aspal (VFA)

Volume pori beton aspal padat (setelah mengalami proses pemadatan) yang terisi oleh aspal atau volume film/selimut aspal (VFA/Voids Filled Asphalt). Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA, maka VFA adalah bagian dari VMA terisi oleh aspal.

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \quad (5)$$

dengan:

VFA : rongga udara yang terisi aspal, persentase dari VMA (%),
 VMA : rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total (%),
 VIM : rongga udara pada campuran setelah pemadatan, persentase dari volume total (%).

2.7.6 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow, yang dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (6)$$

dengan:

MQ : Marshall Quotient (kg/mm),
 MS : Marshall Stability (kg),
 MF : Flow Marshall (mm).

Analisis karakteristik parameter Marshall pada campuran aspal adalah sebagai berikut:

1. Berat jenis bulk dan apparent agregat campuran
 - Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (bulk specific gravity) dan berat jenis semu (apparent gravity).
 - a. Berat jenis bulk agregat campuran

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \dots + \frac{Pn}{Gsbn}} \quad (7)$$

dengan:

Gsb : berat jenis bulk agregat,
 Gsb1, Gsb2, ..Gsbn : berat jenis bulk dari masing-masing agregat 1,2,..n,
 P1, P2, ..Pn : persentase berat dari agregat (%).

b. Berat jenis semu Agregat campuran

$$Gsa = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa1} + \frac{P_2}{Gsa2} + \dots + \frac{P_n}{Gsan}} \quad (8)$$

dengan:

Gsa : berat jenis semu agregat,

Gsa1, Gsa2, ..., Gsan: berat jenis semu masing-masing fraksi agregat 1, 2, ..., n,

P1, P2, ..., Pn : persentase berat dari agregate (%).

2. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan:

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} \quad (9)$$

dengan:

Gse : berat jenis efektif/effective specific gravity,

Gsb : berat jenis kering agregat/bulk specific gravity,

Gsa : berat jenis semu agregat/apparent specific gravity.

3. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pa}{Gb}} \quad (10)$$

dengan:

Gmm : berat jenis maksimum campuran,

Ps : kadar agregat, persen terhadap berat beton aspal padat (%),

Pa : kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

Gse : berat jenis efektif/effective specific gravity,

Gb : berat jenis aspal.

4. Berat jenis bulk dari beton aspal padat

Perhitungan berat jenis bulk dari beton aspal padat (Gmb) dinyatakan dalam gram dengan Persamaan:

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \quad (11)$$

dengan:

Gmb : berat jenis bulk dari beton aspal padat,

Bk : berat kering beton aspal padat (gr),

Bssd : berat kering permukaan dari beton aspal yang telah dipadatkan (gr),

Ba : berat beton aspal padat didalam air

5. Kadar aspal yang terabsorbsi

$$Pab = 100 \frac{Gse - Gsb}{Gsb \times Gse} Gb \quad (12)$$

dengan:

Pab : kadar aspal yang terabsorbsi ke dalam pori butir agregat (%),

Gsb : berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat,

Gse : berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat,

Gb : berat jenis aspal.

6. Kadar aspal efektif

Persamaan kadar aspal efektif adalah:

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} Ps \quad (13)$$

dengan:

Pbe : kadar aspal efektif, persen terhadap berat beton aspal padat (%),

Pb : kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

Pba : kadar aspal yang terabsorbsi ke dalam pori butir agregat, persen terhadap berat agregat (%),

Ps : kadar agregat, persen terhadap berat beton aspal padat (%).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Gorontalo. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan diambil dari PT. Tri Sandi Yudha (AMP Desa Sosial, Kecamatan Paguyaman, Kabupaten Boalemo).
2. Pasir yang digunakan diambil dari sungai Bone di Kelurahan Botu, Kecamatan Dumbo Raya, Kota Gorontalo.
3. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Asbuton Pracampur diambil dari PT. Tri Sandi Yudha (AMP Desa Sosial, Kecamatan Paguyaman, Kabupaten Boalemo).

3.3 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Alat pengujian agregat
2. Alat pengujian aspal
3. Alat pengujian campuran metode Marshall.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data primer yang

diperoleh dari pengujian yang dilakukan di laboratorium.

1. Pengujian agregat kasar
2. Pengujian agregat halus
3. Pengujian bahan pengisi (filler)
4. Pengujian aspal

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan Metode Bina Marga menggunakan spesifikasi AC-BC dengan Metode Pengujian Marshall.

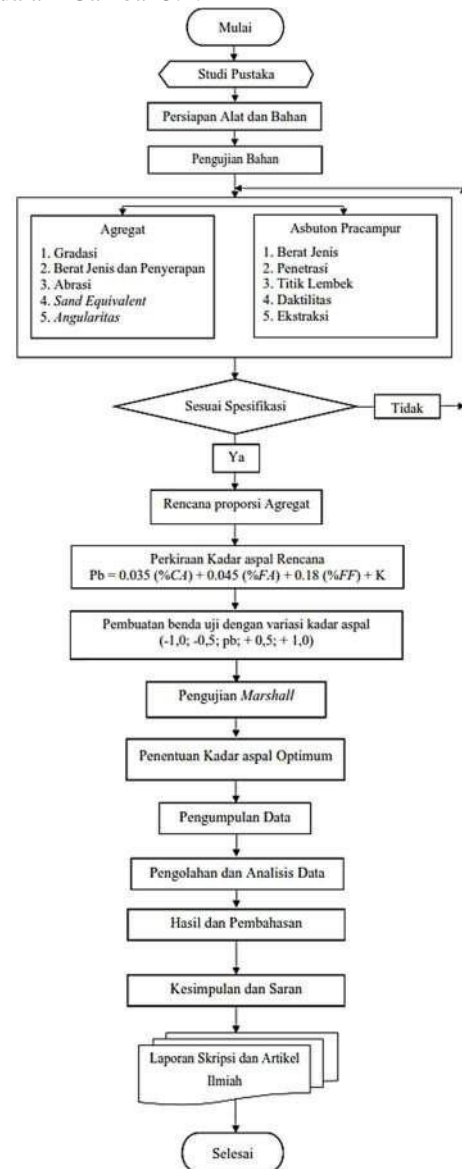
1. Berat jenis bulk dan apparent agregat campuran
 - a. Berat jenis bulk agregat campuran ditunjukkan pada Persamaan 2.7.
 - b. Berat jenis semu agregat campuran ditunjukkan pada Persamaan 2.8.
2. Berat jenis efektif agregat
Berat jenis efektif dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.9.
3. Berat jenis maksimum campuran
Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan Persamaan 2.10.
4. Berat jenis bulk dari beton aspal padat
Perhitungan berat jenis bulk dari beton aspal padat (Gmb) dinyatakan dalam gram dengan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.11.
5. Kadar aspal yang terabsorpsi, ditunjukkan pada Persamaan 2.12.
6. Kadar aspal efektif
Rumus kadar aspal efektif ditunjukkan pada Persamaan 2.13.
7. Volume pori dalam agregat campuran (Voids in the Mineral Aggregate)
Rumus VMA ditunjukkan pada Persamaan 2.3.
8. Volume pori dalam beton aspal padat (Voids in Mix)
Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4.
9. Volume pori antara butir agregat terisi aspal (Void Filled with Bitumen)
Rumus untuk menghitung VFA ditunjukkan pada Persamaan 2.5.
10. Stabilitas
Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh dial.
11. Flow
Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai flow berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh dial.
12. Hasil bagi Marshall
Dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan 2.6.

4.6 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.

2. Pengujian bahan. Pengujian itu terdiri dari:
 - a. Pengujian agregat.
 - b. Pengujian asbuton pracampur.
3. Rancangan proporsi agregat.
4. Menentukan perkiraan kadar aspal rencana, perkiraan awal kadar aspal rencana ditunjukkan pada Persamaan 2.1.
5. Mix design tahap 1, setelah mendapat proporsi agregat dan kadar aspal rencana, maka akan membuat benda uji atau briket beton aspal.
6. Melakukan pengujian Marshall untuk menentukan kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi Marshall, VIM, VMA, VFA.
7. Menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).
8. Mix design tahap 2, melakukan pembuatan benda uji pada KAO. Keseluruhan tahapan penelitian seperti ditunjukkan pada bagan alir dalam Gambar 3.2.



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengujian berupa uji agregat, aspal, dan Marshall Test hasilnya sebagai berikut:

4.1.1 Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian terdiri atas CA, MA, FA (abu batu dan pasir). Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3 s/d Tabel 6.

Tabel 3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Abration Test	SNI 2417: 2008	%	24,84	Maks. 30
2	Bulk Specific Gravity	SNI 1969: 2008	-	2,56	-
3	SSD	SNI 1969: 2008	-	2,59	-
4	Apparent Specific Gravity	SNI 1969: 2008	-	2,65	-
5	Absorbtion	SNI 1969: 2008	%	1,27	Maks. 3
6	Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619: 2012	%	99,32/98,94	95/90
7	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439: 2011	%	> 95	Min. 95
8	Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287: 2016	%	1,6	Maks. 10
9	Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	%	0,6	Maks. 1

Tabel 4 Hasil Pengujian Agregat Sedang

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Abration Test	SNI 2417: 2008	%	27,51	Maks. 30
2	Bulk Specific Gravity	SNI 1969: 2008	-	2,54	-
3	SSD	SNI 1969: 2008	-	2,59	-
4	Apparent Specific Gravity	SNI 1969: 2008	-	2,66	-
5	Absorbtion	SNI 1969: 2008	%	1,74	Maks. 3
6	Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619: 2012	%	99,32/98,94	95/90
7	Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287: 2016	%	1,6	Maks. 10
8	Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	%	0,9	Maks. 1

Tabel 5 Hasil Pengujian Abu Batu

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Bulk Specific Gravity	SNI 1970: 2008	-	2,42	-
2	SSD	SNI 1970: 2008	-	2,45	-
3	Apparent Specific Gravity	SNI 1970: 2008	-	2,50	-
4	Absorbtion	SNI 1970: 2008	%	1,32	Maks. 3
5	Nilai setara pasir	SNI 03 4428 1997	%	75,76	Min. 50
6	Gumpalan lempung dan butir mudah pecah	SNI 03 4141 1996	%	0,99	Maks. 1
7	Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	%	9,92	Maks. 10

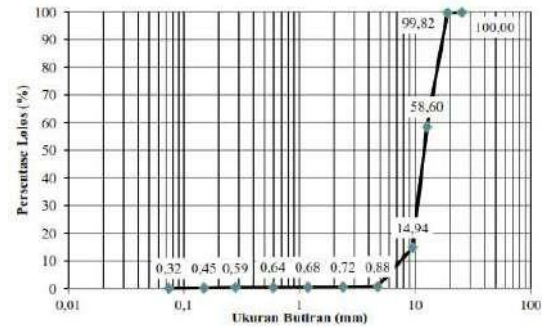
Tabel 6 Hasil Pengujian Pasir

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Bulk Specific Gravity	SNI 1970: 2008	-	2,40	-
2	SSD	SNI 1970: 2008	-	2,45	-
3	Apparent Specific Gravity	SNI 1970: 2008	-	2,54	-
4	Absorbtion	SNI 1970: 2008	%	2,28	Maks. 3
5	Nilai setara pasir	SNI 03 4428 1997	%	97,59	Min. 50
6	Gumpalan lempung dan butir mudah pecah	SNI 03 4141 1996	%	0,43	Maks. 1
7	Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	%	2,03	Maks. 10

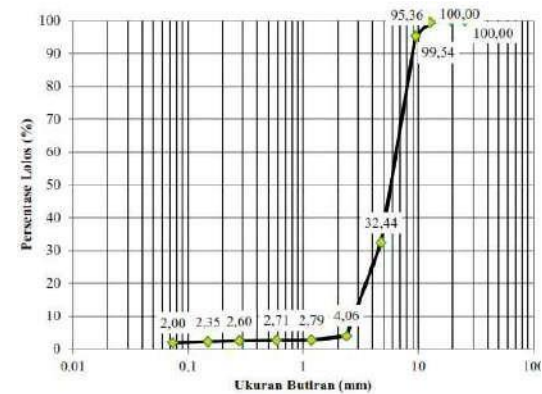
Hasil pengujian agregat yang ditunjukkan dalam Tabel 3 s/d Tabel 6, berupa pemeriksaan pada agregat kasar, agregat sedang, abu batu, dan pasir. pasir menunjukkan bahwa seluruh nilai-nilai karakteristiknya memenuhi syarat Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).

Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) menyatakan

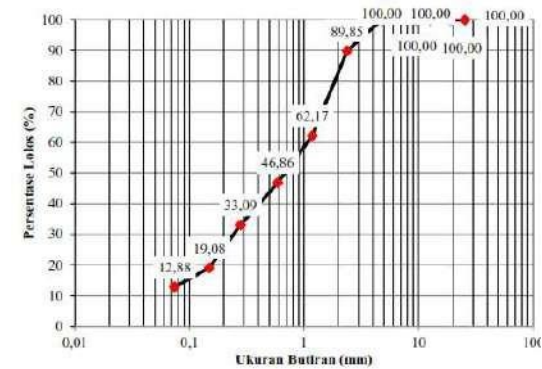
penggunaan ayakan pada lapis aus AC- BC terdiri dari ukuran 1 inci, ¾ inci, ½ inci, ⅜ inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200. Hasil pengujian gradasi ditunjukkan pada Gambar 3 s/d Gambar 6.



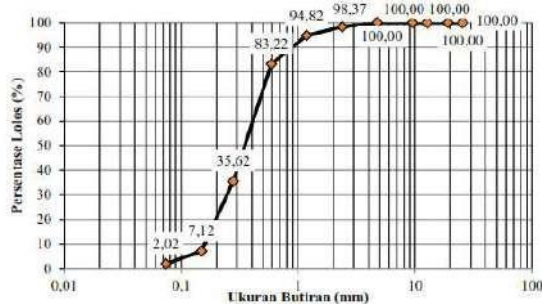
Gambar 3 Distribusi Gradasi Agregat Kasar



Gambar 4 Distribusi Gradasi Agregat Sedang



Gambar 5 Distribusi Gradasi Abu Batu



Gambar 6 Distribusi Gradasi Pasir

Berdasarkan Gambar 3 s/d 4 hasil agregat kasar memiliki nilai persentase lolos saringan No.4 (4,75 mm) relatif kecil, sedangkan Gambar 4 s/d 5

menunjukkan bahwa agregat halus nilai persentase lolos saringan No.4 (4,75 mm) adalah 100%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian telah memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).

4.1.2 Aspal

Hasil pengujian aspal di laboratorium diperoleh data ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Pengujian Asbuton Pracampur

No	Pengujian	Standar Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Berat Jenis Aspal	SNI 2441: 2011	-	1,036	≥ 1
2	Titik Lembek Aspal	SNI 2434: 2011	°C	55,5	≥ 51
3	Penetrasi Aspal	SNI 2456: 2011	mm	54	50-60

Berdasarkan Tabel 7 hasil pengujian seluruhnya masuk dalam syarat yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).

Ekstraksi asbuton pracampur ini dilakukan dengan metode menggunakan alat tabung refluks gelas. Hasil ekstraksi asbuton pracampur ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Ekstraksi Asbuton Pracampur

No.	No. Uji	Sampel	
		1	2
1	Berat Benda Uji Kering (W1) (Gram)	500	500
2	Berat Kertas Saring + Mineral (Gram)	20,6	21,2
3	Berat Kertas Saring (Gram)	10,9	10,9
4	Berat Mineral (W2) (Gram)	9,7	10,3
5	Berat Aspal (W3) (Gram)	490,3	489,7
6	Kadar Aspal (%)	98,06	97,94
Rata-rata Kadar Aspal (%)		98,00	

Tabel 8 menunjukkan asbuton pracampur memiliki kandungan 98% bitumen dan 2% mineral.

4.1.3 Gradasi Gabungan

Kombinasi agregat dengan cara trial and error ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Gradasi Gabungan Campuran Metode Trial and Error

Spesifikasi Umum, 2018											
Inch	1"	¾"	½"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
mm	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,150	0,075
Spesifikasi Gradasi AC-BC											
Maks.	100	100	90	82	64	49	38	28	20	13	8
Min	100	90	75	66	46	30	18	12	7	5	4
Data Gradasi											
CA	100	99,8	58,6	14,9	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3
MA	100	100	99,5	95,4	32,4	4,1	2,8	2,7	2,6	2,3	2,0
Abu Batu	100	100	100	100	100	89,8	62,2	46,9	33,1	19,1	12,9
Pasir	100	100	100	100	100	98,4	94,8	83,2	35,6	7,1	2,0
Kombinasi Agregat											
CA	36%	35,9	21,1	5,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
MA	18%	18	17,9	17,2	5,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Abu Batu	40%	40	40	40	40	35,9	24,9	18,7	13,2	7,6	5,2
Pasir	6%	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9	5,7	5,0	2,1	0,4	0,1
Total	100%	99,9	85,0	68,5	52,2	42,8	31,3	24,5	16,1	8,6	5,7

4.1.4 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Penentuan awal kadar aspal rencana dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.1

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

$$P_b = 0,035(47,84) + 0,045(46,41) + 0,18(5,75) + 0,75$$

$$P_b = 5,5 \%$$

4.1.5 Pengujian Marshall

Hasil pengujian dan analisa parameter Marshall ditunjukkan pada Tabel 10.

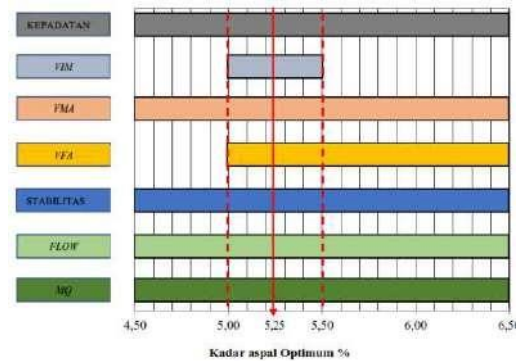
Tabel 10 Hasil Pengujian Marshall

Kadar Aspal (%)	Density (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
4,5	2,22	6,92	14,96	53,77	1.234,63	2,96	417,11
5,0	2,25	4,95	14,20	65,13	1.303,33	2,96	440,32
5,5	2,26	3,72	14,13	73,66	1.296,23	3,08	420,85
6,0	2,28	2,45	14,03	82,52	1.296,23	3,10	418,14
6,5	2,29	1,38	14,12	90,23	1.274,34	3,14	405,84

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa variasi kadar aspal 4,5% nilai VIM tidak memenuhi kriteria spesifikasi karena terlalu besar. Pada kadar aspal 4,5% juga nilai VFA terlalu kecil belum memenuhi batas minimum spesifikasi yaitu ≥ 65%. Variasi kadar aspal 5,0% dan 5,5% semua nilai memenuhi spesifikasi. Pada variasi kadar aspal 6,0% dan 6,5% nilai VIM terlalu kecil, sedangkan batas spesifikasi untuk VIM adalah 3,0%-5,0%.

4.1.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.1.7 Rancangan Campuran Mix Design tahap 2

Rancangan campuran dibuat Kadar Aspal Optimum sebesar 5,25%. Adapun hasil pengujian Marshall ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil Pengujian Marshall pada KAO

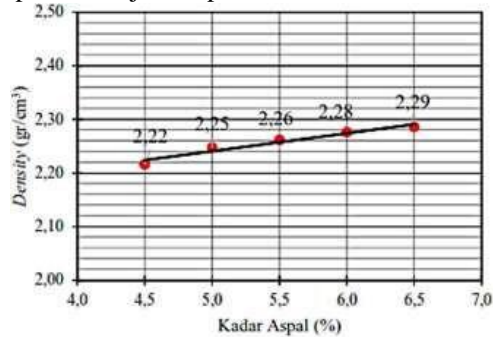
Sifat-sifat campuran Marshall	Satuan	Sepsifikasi	Hasil
Density	gr/cm ³	-	2,22
VIM	%	3-5	4,95
VMA	%	≥ 14	14,63
VFA	%	≥ 65	66,19
Stabilitas	Kg	≥ 1000	1.310,20
Flow	mm	2-4	2,54
Marshall Quotient	Kg/mm	≥ 250	515,83

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Kepadatan (Density) dengan Campuran

Nilai kepadatan merupakan perbandingan antara berat benda uji di udara atau dalam keadaan kering

dengan volume total benda uji. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh faktor gradasi campuran jenis dan kualitas bahan penyusun, dan faktor pemadatan baik dari segi jumlah maupun suhu pemadatan, serta penggunaan kadar aspal. Nilai kepadatan pada campuran ditunjukkan pada Gambar 8.



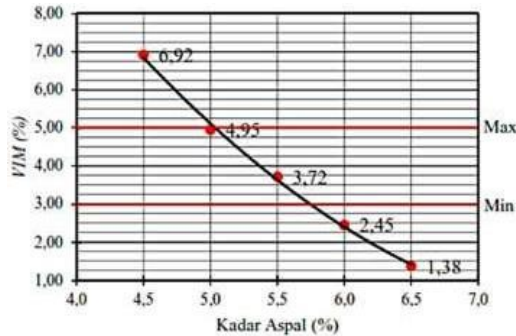
Gambar 8 Hubungan Kepadatan dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal nilai kepadatannya semakin naik, hal ini karena dengan bertambahnya aspal campuran akan mudah dikerjakan dan dipadatkan. Hasil pengujian menunjukkan nilai kepadatan terendah pada kadar aspal 4,5% dengan nilai 2,22 gr/cm³, nilai tertinggi pada kadar aspal 6,5% dengan nilai 2,29 gr/cm³, dan nilai kepadatan pada KAO sebesar 2,22 gr/cm³.

4.1.2 Hubungan VIM dengan Campuran

VIM adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapannya, sehingga oksidasi aspal meningkat yang dapat mempercepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal.

VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding ketika suhu meningkat. Nilai VIM pada campuran ditunjukkan pada Gambar 9.

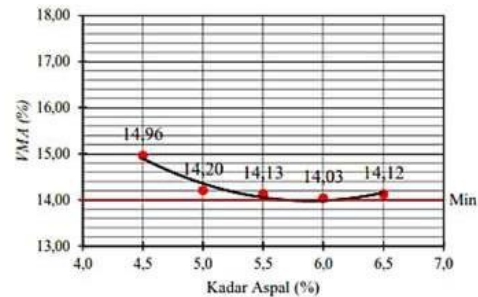


Gambar 9 Hubungan VIM dengan Kadar Aspal

Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) mensyaratkan nilai VIM sebesar 3,0%-5,0%. Campuran pada kadar aspal 5,0% dan 5,5% nilai VIM memenuhi spesifikasi yaitu 4,95% dan 3,72%. Pada mix tahap 2 campuran dengan KAO yaitu 5,25% nilai VIM sebesar 4,95%.

4.1.3 Hubungan VMA dengan Campuran

VMA adalah rongga udara yang ada diantara partikel campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume campuran. Nilai VMA pada campuran ditunjukkan pada Gambar 10.

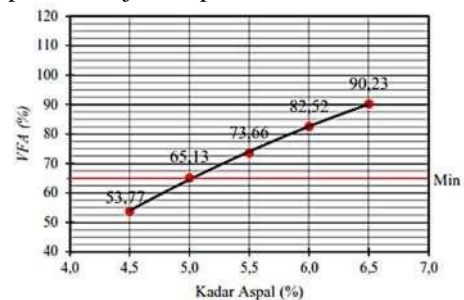


Gambar 10 Hubungan VMA dengan Kadar Aspal

Nilai VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya aspal. Aspal yang pada mulanya berfungsi sebagai pelumas membantu dalam proses pemadatan sehingga VMA menjadi kecil. Aspal yang semakin banyak tidak lagi berfungsi sebagai pelumas, tetapi pengisi rongga dan pembungkus agregat, sehingga proses pemadatan terganggu dan VMA meningkat.

4.1.4 Hubungan VFA dengan Campuran

VFA adalah presentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen (%) terhadap rongga antar butir agregat. VFA merupakan persen VMA yang terisi oleh aspal pengikat. Nilai VFA pada campuran ditunjukkan pada Gambar 11.

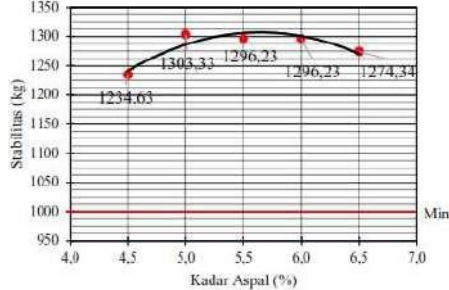


Gambar 11 Hubungan VFA dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 4.9 batasan minimum yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) nilai VFA $\geq 65\%$. Nilai VFA terkecil berada pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar 53,77% yang menunjukkan pada kadar aspal 4,5% nilai VFA tidak memenuhi. Pada kadar aspal 5,0% sampai 6,5% seluruh nilai VFA telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Nilai VFA pada KAO sebesar 66,19%.

4.1.5 Hubungan Stabilitas dengan Campuran

Stabilitas dibutuhkan untuk mengetahui berapa besar kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan perubahan yang tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Hasil pengujian Stabilitas ditunjukkan pada Gambar 12.

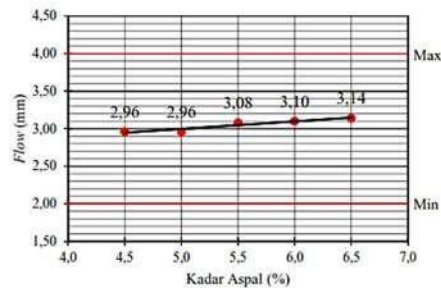


Gambar 12 Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Stabilitas meningkat jika kadar aspal bertambah, karena aspal berfungsi sebagai pelumas pada saat pemadatan dilakukan. Namun, setelah tercapai stabilitas maksimum, maka aspal lebih berfungsi sebagai pengisi rongga dan menyelimuti agregat, sehingga stabilitas akan menurun. Gambar 12 menunjukkan seluruh kadar aspal nilai stabilitasnya diatas batas minimum yang telah ditetapkan Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) yaitu ≥ 1.000 kg.

4.1.6 Hubungan Flow dengan Campuran

Flow menunjukkan tingkat kelenturan suatu nilai campuran. Nilai flow yang tinggi dengan stabilitas rendah mengindikasikan campuran bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban lalu lintas, sedangkan nilai flow yang rendah dan stabilitas tinggi cenderung menjadi getas (brittle) dan kaku. Hasil uji nilai flow ditunjukkan pada Gambar 13.

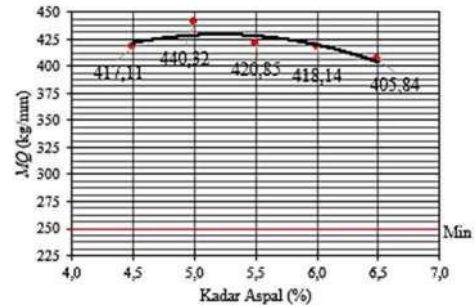


Gambar 13 Hubungan Flow dengan Kadar Aspal

Nilai flow akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal, karena selimut aspal bertambah tebal. Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) membatasi nilai flow untuk campuran laston yaitu 2,0-4,0 mm.

4.1.7 Hubungan MQ dengan Campuran

Marshall Quotient (MQ) merupakan indeks kelenturan suatu campuran berupa perbandingan antara stabilitas terhadap flow. Nilai MQ pada campuran ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Hubungan MQ dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 14 keseluruhan nilai MQ telah memenuhi batas minimum yang telah ditetapkan yaitu ≥ 250 kg/mm.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan:

- Aspal Buton pracampur memiliki berat jenis 1,036; nilai penetrasi sebesar 54 mm; titik lembek 55,5°C; dan hasil ekstraksi diperoleh 98% bitumen dan 2% mineral. Karakteristik Agregat untuk Coarse Aggregate (CA) memiliki berat jenis 2,56; nilai abrasi 24,84%; nilai angularitas 99,32/98,84%; absorbtion 1,27%; kelekatan agregat terhadap aspal > 95%; material lolos saringan No.200 sebesar 0,6%. Medium Aggregate (MA) berat jenis 2,54; nilai abrasi 27,51%; nilai angularitas 99,32/98,84%; absorbtion 1,74%; kelekatan agregat terhadap aspal >95%; material lolos saringan No.200 sebesar 0,9%. Fine Aggregate (FA)/abu batu berat jenis 2,42; absorbtion 1,32%; sand equivalent 75,76%; material lolos saringan No.200 sebesar 9,92%. Pasir memiliki berat jenis 2,40; absorbtion 2,28%; material lolos saringan No.200 sebesar 2,03%. Nilai karakteristik aspal dan agregat yang diperoleh seluruhnya memenuhi syarat Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2).
- Nilai KAO AC-BC asbuton pracampur adalah 5,25%. Karakteristik Marshall menggunakan KAO 5,25%, nilai kepadatan 2,22 gr/cm³; VIM 4,95%; VMA 14,63%; VFA 66,19%; stabilitas 1.310,20 kg; flow 2,54 mm; dan nilai Marshall Quotient 515,83 kg/mm. Berdasarkan uraian karakteristik Marshall disimpulkan bahwa campuran yang menggunakan asbuton pracampur dan agregat Gorontalo memiliki stabilitas yang tinggi. Campuran dengan stabilitas tinggi diutamakan untuk melapisi ruas jalan yang melayani lalu lintas berat dan padat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Soehardi, F. dan Putri, L. D. (2018) Penggunaan Aspal Buton Berbutir pada Campuran Lapisan Perkerasan AC-BC, Jurnal Sainstek STT Pekanbaru, 6(1), hal. 6–14.
- Hermadi, M. dan Kurniadji (2014) Asbuton Pelet Sebagai Bahan Tambah untuk

- Memperbaiki Sifat Aspal dan Campuran Beraspal, 31(1), hal. 24–37.
- [3] Saodang, H. (2005) *Konstruksi Jalan Raya*. Bandung: Nova.
 - [4] Sukirman, S. (2016) *Beton Aspal Campuran Panas*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Institut Teknologi Nasional.
 - [5] Hardiyatmo, H. C. (2019) *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. 3 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
 - [6] Sutoyo (2020) *Perancangan Campuran Beraspal*. 1 ed. Yogyakarta: Deepublish Publisher.
 - [7] Pusjatan (2018) *Renstra Loka Asbuton 2015-2019*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
 - [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2016) *Modul 1 Bahan Campuran Asbuton*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
 - [9] Yamin, H. R. A., Pravianto, W. dan Dewita,
 - [10] Direktorat Jenderal Bina Marga (2020) *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga.
 - [11] H. (2014) *Asbuton Pracampur antara Harapan dan Kenyataan Asbuton Premix Between Hope and Reality*, *Poli Rekayasa*, 10(1), hal. 31–41.