

PENGARUH PENGGUNAAN KAPUR BUKIT TUI PADANG PANJANG SEBAGAI PENGGANTI *FILLER* UNTUK CAMPURAN ASPHALT *CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)*

Muhammad Allhe Perdana¹

Universitas Bung Hatta

muhammadallheperdana@gmail.com

Mufti Warman Hasan²

Universitas Bung Hatta

muftiwarman@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Kapur Bukit Tui Padang Panjang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti filler pada campuran aspal AC – BC. Secara umum kapur bersifat hidrolis, tidak menunjukkan pelapukan dan dapat terbawa arus. Kapur bertindak sebagai anti-stripping agent yang dapat meningkatkan durabilitas atau keawetan kinerja campuran beton aspal dalam menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan pada permukaan jalan, serta menahan keausan. Serta kapur dan semen mempunyai kesamaan pada kandungannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kapur Bukit Tui Padang Panjang dapat digunakan sebagai pengganti filler pada campuran AC-BC, dan berapa presentase optimum penambahan kapur, serta pengaruhnya pada karakteristik marshall. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Setelah selesai pengujian marshall, didapat nilai kadar aspal optimum sebesar 5,5%. Setelah didapat nilai ini benda uji dipersiapkan dengan menggunakan filler 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dari berat total filler. Dari hasil analisis nilai marshall terhadap benda uji dengan menggunakan filler kapur Bukit Tui Padang Panjang, dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya kadar filler kapur bukit tui maka nilai VMA, VIM, Stability, MQ mengalami penurunan, ini bisa terjadi karena peningkatan kadar filler kapur yang berlebihan membuat aspal sulit untuk mengikat agregat karena banyak rongga agregat yang terisi kapur. Sedangkan nilai density, VFA, flow mengalami peningkatan, ini bisa terjadi karena disebabkan kapur tidak sempurna menyerap aspal sehingga butiran-butiran kapur memiliki selimut aspal yang tebal. Kadar kapur dengan variasi 20% merupakan kadar terbaik karena memiliki parameter marshall paling optimum dengan density 2,246gr/cm³, nilai VMA 17,32%, nilai VIM 3,45, nilai VFA 80,15%, nilai stability 1409kg, nilai flow 3,38%, nilai MQ 416kg/mm.

Kata Kunci: Kapur Bukit Tui, AC-BC, *filler*, Marshall

ABSTRAK

Bukit Tui chalk Padang Panjang can be utilized as a filler replacement material in AC-BC asphalt mixtures. In general, lime is hydraulic, does not show weathering and can be carried away. Lime acts as an anti-stripping agent that can increase the durability or durability of the performance of asphalt concrete mixtures in accepting repetitions of traffic loads such as vehicle weight and friction between vehicle wheels on the road surface, as well as resisting wear due . As well as lime and cement have similarities in their content. This study aim at determining whether Bukit Tui Padang Panjang lime can be used as a substitute for filler in AC-BC mixtures, and what is the optimum percentage of lime addition, and its effect on marshall characteristics. This research uses experimental method. After completing the marshall test, the optimum asphalt content value of 5.5% was obtained. After obtaining this value, the test specimens were prepared using filler 10%, 20%, 30%, 40%, 50% of the total weight of the filler. From the results of the analysis of the marshall value of the test specimens using lime filler Bukit Tui padang panjang, it can be seen that with increasing levels of lime filler Bukit Tui, the value of VMA, VIM, Stability, MQ has decreased, this can occur because an excessive increase in lime filler levels makes it difficult for asphalt to bind the aggregate because many aggregate cavities are filled with lime. While the values of density, VFA, flow experience an increase, this can occur because the lime does not perfectly absorb asphalt so that the lime granules have a thick asphalt blanket. Lime content with 20% variation is the best content because it has the most optimum marshall parameters with density 2.246gr/cm³, VMA value 17.32%, VIM value 3.45, VFA value 80.15%, stability value 1409kg, Flow value 3.38%, MQ value 416kg/mm.

Keywords: Lime Bukit Tui, AC-BC, filler, Marshall

PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur yang memiliki peran utama dalam kemajuan ekonomi suatu daerah. Tidak hanya sebagai sarana transportasi, jalan juga berpengaruh signifikan pada hubungan dan aktivitas ekonomi antar wilayah, mobilitas penduduk, kesehatan, serta berperan penting dalam pendidikan. Untuk mewujudkan kondisi jalan yang berkualitas maka perlu diberikan lapisan tambah antara tanah dan roda kendaraan berupa lapisan perkerasan. Salah satu jenis lapisan perkerasan tersebut adalah lapisan AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course). AC BC juga berfungsi sebagai lapisan kedap air yang mencegah infiltrasi air ke lapisan pondasi. Untuk mendapatkan lapisan AC-BC yang berkualitas maka dibutuhkan material-material penyusun yang baik dan juga berkualitas. Salah satu material penyusun lapis AC-BC adalah filler sebagai bahan pengisinya. Dalam situasi tertentu, ketika bahan pengisi filler (semen) sulit diperoleh dengan harga yang terjangkau, diperlukan alternatif bahan pengganti filler pada penelitian ini yaitu kapur Bukit Tui Padang Panjang ,Pada penelitian ini juga berfungsi Untuk mengetahui apakah kapur dapat bermanfaat sebagai bahan penambah pada campuran Laston AC-BC dalam penelitian ini. Setelah melakukan penelitian ini diharapkan dapat menambah masukan kepada penyedia jasa pada bidang jalan dan kedepannya diharapkan dapat menjadi alternatif dalam produksi aspal panas pada proyek konstruksi jalan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Pengelola Jalan Nasional Provinsi Sumatera Barat, dengan metode yang digunakan adalah metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan percobaan untuk mendapatkan data. Pengujian material menggunakan metode uji berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2018) revisi 2, pengujian yang pertama kali dilakukan pada penelitian ini adalah :

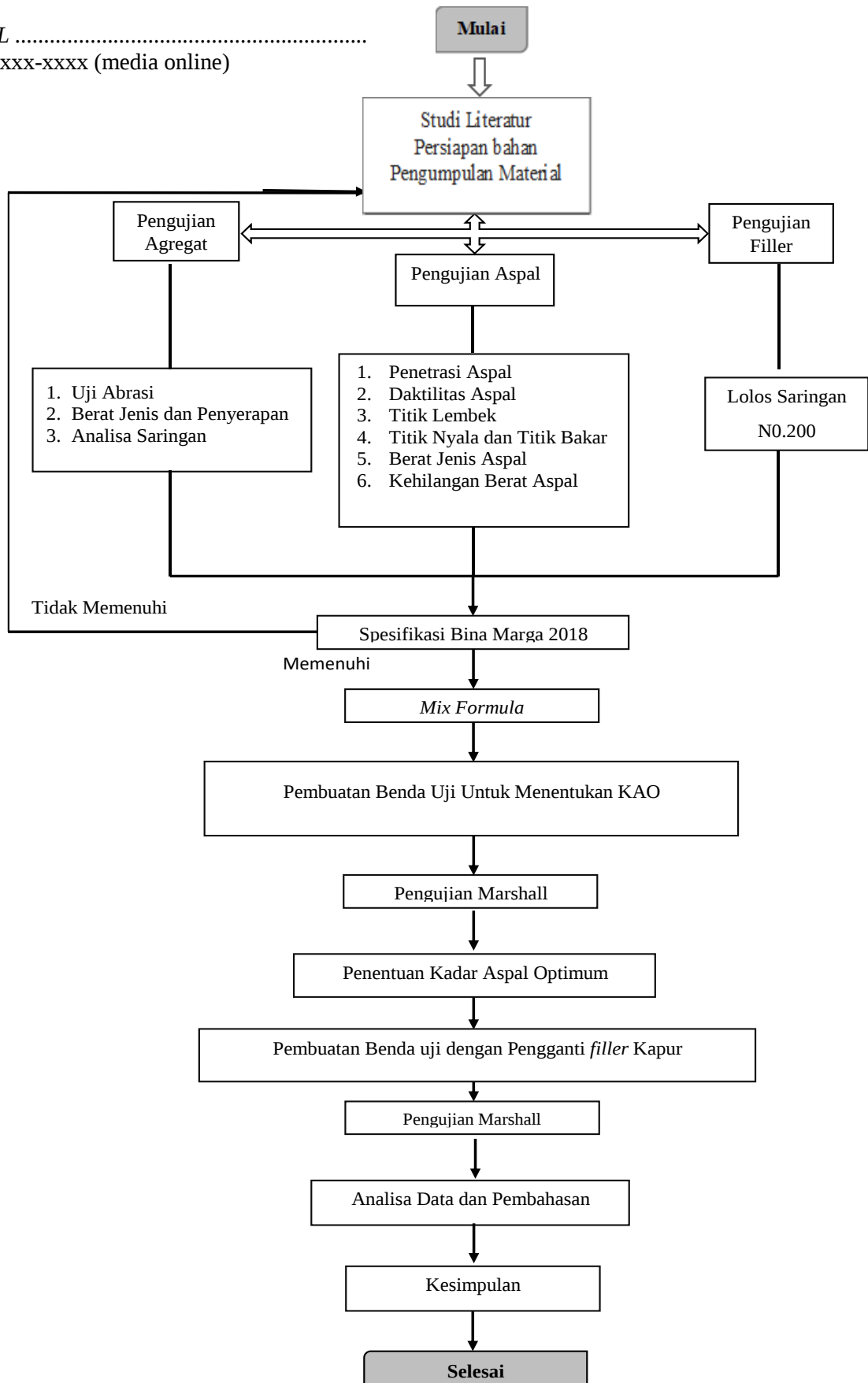
1. Pengujian Agregat
Pengujian properties agregat dilakukan untuk melihat spesifikasi agregat sebagai berikut:
 - 1) Pengujian Keausan Agregat menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*
 - 2) Pengujian Analisa Saringan
 - 3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan
 - 4) Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal
 - 5) Pengujian Lolos saringan no. 200
2. Pengujian Aspal
Pengujian aspal dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70, untuk melihat spesifikasi yang terkandung dalam aspal penetrasi 60/70 sebagai berikut :
 - 1) Pengujian Penetrasi aspal
 - 2) Pengujian Daktilitas aspal
 - 3) Pengujian Berat jenis aspal
 - 4) Pengujian Titik lembek aspal
 - 5) Pengujian Titik nyala dan Titik bakar aspal
 - 6) Pengujian Kehilangan Berat pada aspal dan minyak (TFOT)
3. Pengujian Filler
 - 1) Pengujian Berat Jenis filler
 - 2) Pengujian Lolos saringan no 200

Setelah dilakukan pengujian material, maka selanjutnya menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum dengan rumus sebagai berikut.

4. Menghitung Kadar Aspal Rencana (Pb)
Menurut Spesifikasi Bina Marga (2018), kadar aspal optimum pada umumnya berkisar antara 4% sampai dengan 7%. Untuk mendapatkan kadar aspal yang optimum, maka diperlukan variasi kadar aspal dengan kenaikan 0,5% atau penurunan 0,5%. Perhitungan penentuan kadar aspal rencana (Pb) yang mengacu pada gradasi agregat yang digunakan dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

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

5. Pengujian *Marshall*
Untuk melakukan pengujian *marshall*, ada beberapa tahapan yaitu :
 - 1) Persiapan Agregat
 - 2) Persiapan Aspal
 - 3) Pembuatan Benda Uji (*sample*)
 - 4) Pengujian Berat Jenis
 - 5) Perendaman di Water Bath
 - 6) Pengujian *Marshall*



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian material dilaksanakan sebelum dilakukan pembuatan benda uji maka pada penelitian ini dilakukan pengujian *propeties* agregat, *propeties* aspal dan pengujian *filler* (Kapur). Pengujian *propeties* agregat terdiri dari pengujian agregat kasar dan agregat halus serta pengujian *propeties* aspal. Pengujian material ini megacu dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Setelah semua material memenuhi spesifikasi, barulah pembuatan benda uji dapat dilakukan

Tabel 1 Hasil Pengujian *Propeties* Agregat Kasar

No	Pengujian	Standarisasi	Persyaratan		Hasil	Keterangan
			Min	Max		
1.	Penyerapan air	SNI 1969-2016	-	3%	0,631%	Memenuhi
2.	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,5	-	2,738	Memenuhi
3.	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,5	-	2,755	Memenuhi
4.	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,5	-	2,786	Memenuhi
5.	Butir Pipih lonjong	SNI 8287-2016	-	10%	1,03	Memenuhi
6.	Kelekatan Agregat	SNI 06-2439-2011	95%	-	97,3%	Memenuhi
7.	Keausan Agregat	SNI 2417-2008	-	30%	25,38	Memenuhi

Tabel 2 Hasil Pengujian *Propeties* Agregat Halus

No	Pengujian	Standarisasi	Persyaratan		Hasil	Keterangan
			Min	Max		
1.	Penyerapan air	SNI 1969-2016	-	3%	0,756%	Memenuhi
2.	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,5	-	2,649	Memenuhi
3.	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,5	-	2,670	Memenuhi
4.	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,5	-	2,704	Memenuhi
5.	Agregat Lolos saringan No. 200	ASTM C117-2012	-	10%	9,99 %	Memenuhi

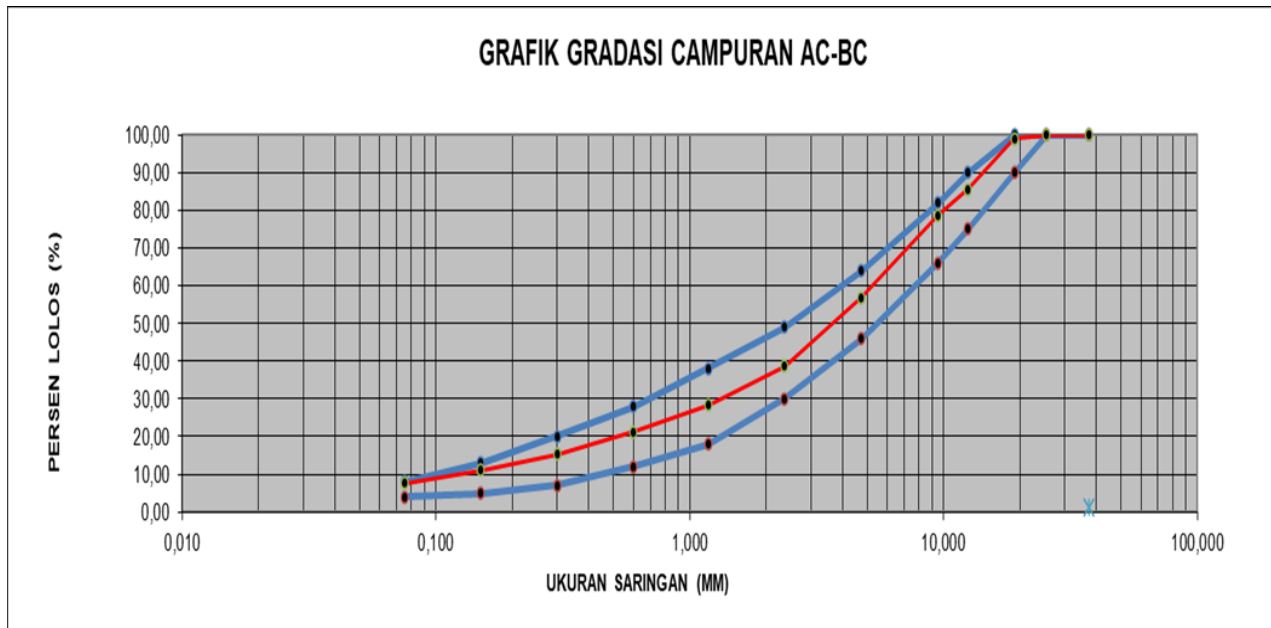
Tabel 3 Pengjian *propeties* Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Satuan	Ket
				Min	Maks		
1	Penetrasi pada 25 °C	SNI 2456:2011	60,75	60	70	0.1 mm	memenuhi
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	50,3	48	-	°C	memenuhi
3	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/mnt	SNI 2432:2011	>150	100	-	cm	memenuhi
4	Titik Nyala	SNI 2433:2011	314,5	232	-	°c	memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 2441:2011	1,030	1,0	-	-	memenuhi
6	Kelarutan	SNI 2438:2015	99,94	99	-	%	memenuhi
7	Kehilangan Berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	0,338	-	0,8	%	memenuhi

Dalam menentukan komposisi campuran dilakukan pengujian analisa saringan untuk masing-masing agregat yang mengacu pada SNI ASTM C 136-2012. Dari hasil pengujian analisa saringan untuk masing-masing agregat maka diperoleh data untuk menentukan hasil komposisi pada campuran aspal jenis AC-BC. Dalam perhitungan penentuan komposisi campuran yang akan dibuat untuk jenis AC-BC, perhitungannya dengan menggunakan cara coba-coba (*trial and error*), dengan cara ini, maka akan diperoleh seberapa besar persentase komposisi campuran dari masing-masing agregat pada campuran AC-BC tersebut yang ideal untuk digunakan dalam proses pencampuran. Maka dalam grafik akan dapat terlihat Batasan-batasan spesifikasi untuk jenis campuran AC-BC.

Tabel 4 Perencanaan Gradasi Campuran AC -BC

Perencanaan Gradasi Campuran AC-BC														
Ukuran Saringan														
Inch		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	
mm		37,500	25,400	19,000	12,500	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	
Data Material														
Split 1 - 2		100,00	100,00	95,81	42,08	16,63	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medium 0,5-1		100,00	100,00	100,00	100,00	99,29	25,44	3,57	2,37	2,04	1,77	1,37	0,92	
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	99,82	92,53	66,45	47,88	34,98	23,88	16,33	9,99	
Filler (Semen)		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,97	98,86	
Komposisi Campuran														
Split 1 - 2		25%	25,00	25,00	23,95	10,52	4,16	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medium 0,5-1		19%	19,00	19,00	19,00	19,00	18,86	4,83	0,68	0,45	0,39	0,34	0,26	0,17
Abu Batu		54%	54,00	54,00	54,00	54,00	53,90	49,97	35,88	25,86	18,89	12,89	8,82	5,40
Filler (Semen)		2%	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,98	1,98
Total Campuran	100,0%	100,00	100,00	98,95	85,52	78,92	56,93	33,20	28,31	21,28	15,23	11,06	5,93	
Spec. Gradasi														
Max.		100,00	100,00	100,00	90,00	82,00	64,00	49,00	38,00	28,00	20,00	13,00	8,00	
Min.		100,00	100,00	90,00	75,00	66,00	46,00	30,00	18,00	12,00	7,00	5,00	4,00	
Keterangan														
		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok



Gambar 2 Grafik Gradasi Campuran AC - BC

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai kadar aspal rencana (P_b) dengan cara empiris guna menghasilkan campuran aspal panas yang memenuhi persyaratan.

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

Keterangan:

P_b = Perkiraan kadar aspal terhadap campuran, persentase berat terhadap campuran
CA = Persentase Saringan No.8
FA = Persentase Saringan No.8
FF = Presentase bahan pengisi saringan No.200
K = Konstanta

Dimana:

CA = 100% - Persentase agregat kasar No.8
FA = Persentase agregat kasar saringan No.8 – Persentase bahan pengisi saringan No.200
FF = Presentase bahan pengisi saringan No.200

Maka diperoleh nilai CA, FA, FF sebagai berikut:

CA = 100-33,20 = 66,88
FA = 33,20-5,93 = 27,27
FF = 5,93

Substitusikan nilai CA, FA, dan FF ke persamaan, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

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

$$P_b = (0,035 \times 66,8) + (0,045 \times 27,27) + (0,18 \times 5,93) + 1,0$$

$$P_b = 5,645 \sim 5,5\%$$

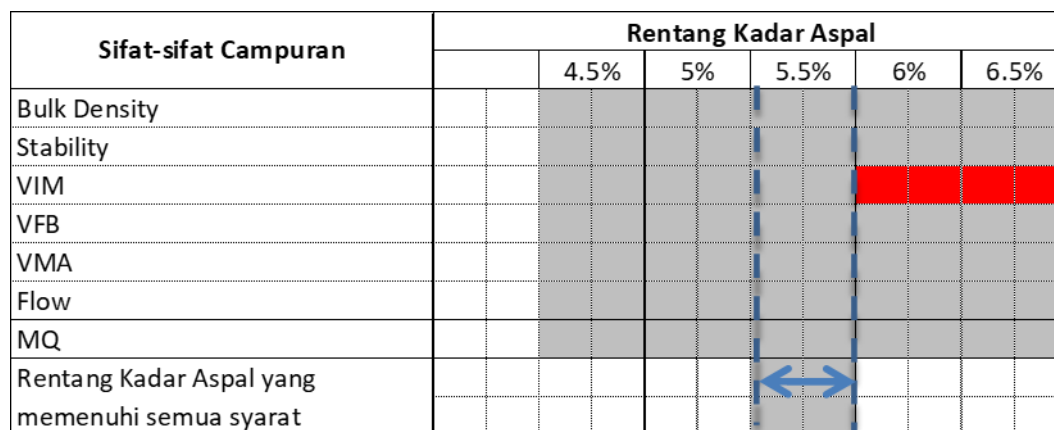
Berdasarkan perhitungan kadar aspal rencana (Pb) diatas, didapatkan nilai kadar aspal rencana (Pb) sebesar 5,5%. Menentukan kadar aspal optimum diperlukan variasi kadar aspal dengan penurunan 0,5% atau kenaikan 0,5% dari nilai kadar aspal rencana yang didapatkan, maka kadar aspal yang digunakan dalam membuat campuran untuk menentukan kadar aspal optimum yaitu 4,5% 5% 5,5%, 6% dan 6,5%.

Setelah sampel dibuat maka dilakukan pengujian marshall. hasil pengujian marshall untuk campuran dengan variasi kadar aspal rencana yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Berikut rekapitulasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Tabel 5 Hasil pengujian marshall dengan kadar aspal optimum

Kadar Kapur Percobaan	GMB rata - rata	GMM	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	MQ
4,5 %	2,332	2,434	17,32	4,19	75,82	1.227,4	2,10	594
5%	2,321		17,79	4,24	76,26	1.242,6	2,30	580
5,5%	2,330		18,25	4,27	76,63	1.249,8	2,40	522
6%	2,377		17,05	2,35	86,25	1.235,0	2,70	458
6,5%	2,375		17,72	2,62	85,21	1.144,1	2,83	402
-	-	-	Min 14 %	3-5%	Min 65	Min 800	2-4	250

Pengertian dari KAO adalah nilai tengah diantara variasi minimum dan maksimum yang memenuhi semua karakteristik marshall (Sukirman, 2007). Menentukan nilai KAO pada campuran AC-BC ini digunakan grafik pita sesuai dengan berikut ini :



Gambar 3 Grafik Pita KAO

Nilai kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan sebesar 5,5%, langkah selanjutnya yaitu membuat benda uji dengan penambahan *filler* berupa kapur Bukit Tui Padang Panjang dengan jumlah penggunaan sebanyak 10%, 20%, 30%, 40%, 50% berdasarkan berat total *filler* pada campuran. Berdasarkan komposisi total campuran untuk lapisan AC-BC diperoleh persentase *filler* sebesar 2% atau 22 gram dari total campuran

Tabel 6 Hasil Presentase Variasi kadar Filler Kapur Bukit TUI Padang Panjang

No	Persentase <i>Filler</i> (gr)	Semen (gr)	Kapur Bukit TUI Padang Panjang (gr)
1.	10%	19,8	2,2
2.	20%	17,6	4,4
3	30%	15,4	6,6
4.	40%	13,2	8
5	50%	11	11

Dari hasil yang telah dilakukan pengujian Marshall aspal rencana dapat diketahui bahwa kadar filler dengan menggunakan kapur Bukit Tui Padang Panjang yang memenuhi syarat karakteristik Marshall berupa: *density*, VMA, VIM, VFA, *stability*, *flow* dan *Marshall Quotient* terletak pada kadar 20%.

Tabel 7 Hasil Pengujian Marshall Dengan Variasi Filler Kapur Bukit TUI Padang Panjang

Kadar Kapur Percobaan	GMB rata - rata	GMM	VMA	VIM	VFA	Stability	Flow	MQ
10 %	2,344	2,434	17,52	3,68	79,00	1.310,8	3,23	405
20%	2,346		17,32	3,45	80,15	1.409,3	3,38	416
30%	2,356		17,09	3,19	81,37	1,355,9	4,07	334
40%	2,359		17,00	3,08	82,07	1.257,7	4,23	297
50%	2,360		16,93	3,00	82,29	1.204,7	4,10	294
-	-	-	Min 14 %	3-5%	Min 65	Min 800	2-4	250

Sifat-sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal						
			10%	20%	30%	40%	50%
Bulk Density ²							
Stability							
VIM							
VFB							
VMA							
Flow							
MQ							
Rentang Kadar Aspal yang memenuhi semua syarat							

Gambar 4 Grafik Pita Variasi Filler Kapur Bukit TUI Padang Panjang

Berdasarkan gambar 4 tentang Grafik Pita penentuan kadar *filler*, maka diperoleh campuran dengan kadar *filler* kapur Bukit Tui Padang Panjang 10 - 20% merupakan campuran terbaik karena memasuki semua spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yang telah ditentukan. Dan untuk kadar *filler* 30% - 50% tidak memenuhi dikarenakan pada nilai flow melebihi batas maksimum.

KESIMPULAN

Berdasarkan penggunaan Kapur Bukit Tui Padang Panjang sebagai pengganti *filler* untuk campuran AC-BC dapat di peroleh Kesimpulan sebagai berikut :Kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan untuk campuran aspal panas lapisan AC-BC yaitu sebesar 5,5%. Kadar aspal optimum ini didapat berdasarkan nilai karakteristik Marshall yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Dalam penelitian ini diketahui bahwa dengan penambahan *filler* kapur Bukit Tui Padang Panjang 10% - 20% kapur dapat memenuhi semua spesifikasi marshall berupa nilai kepadatan (density), stabilitas, rongga dalam agregat (Void In Mineral Aggregate), rongga dalam campuran (Void In The Mix), rongga dalam campuran aspal (Void Fillet With Asphalt), kelelahan plastis (flow), Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient) dengan KAO 5.5%, Namun pada pemakaian kadar filler kapur 30% - 50% tidak memenuhi spesifikasi marshall pada nilai flow, di dapat melebihi batas maksimum nilai flow, sehingga persentase tersebut tidak baik digunakan pada campuran aspal panas AC – BC. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa campuran dengan kadar filler kapur 20% merupakan campuran terbaik karena memiliki nilai parameter marshall yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H. (2013). Tinjauan Penggunaan Abu Batu Dan Abu Vulkanik Sebagai Filler Terhadap Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC–WC). *Jurnal Rekayasa*, 17(1).
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2).
- Fannisa, Heny dan Wahyudi, Moh. 2010. Perencanaan Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Kapur Padam. Skripsi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Isnaini Zulkarnain and Muhammad Hidayat (2023) “Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan Filler Pada Campuran Aspal AC-BC”, *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 7(2),
- Laboratorium Perkerasan Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil Universitas Bung Hatta. 2020. Modul Praktikum Perencanaan Perkerasan Jalan.
- Pertiwi, Yusti Anggraeni, 2012, Pemanfaatan Kapur sebagai Filler untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau dari Parameter Marshall, Tugas Akhir Skripsi, Universitas Negeri Malang, Malang.
- Refi, Ahmad. Pengaruh Penggunaan Kapur Padang Panjang Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Terhadap Karakteristik Campuran Beton Asphalt Lapisan Ac-bc (Asphalt Concrete–Binder Course). *Rang Teknik Journal*, 2019, 2.2.
- S. Jalalul Akbar and L. Ayu Widari, “Penggunaan Kapur Sebagai Filler Pada Campuran Aspal (Ac-Bc) Terhadap Parameter Marshall,” *Teras Jurnal*, vol. 8, no. 1, 2018.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta:
- Yacob, Muhammad, Wesli. Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur Dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 2021, 7.1: 213-222.
- Zulkarnain, M. Hidayat, U. Muhammadiyah, and K. T. Koresponden, “Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan Filler Pada Campuran Aspal AC-BC,” vol 6, no. 3 2024