

PENGGUNAAN LIMBAH MOLASE SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL PADA BETON ASPAL AC-BC

Linda Winarni Fadilah
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
linda.winarni.tksi21
@polban.ac.id

Madhu Khairunnisa
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
madhu.khairunnisa.tksi21
@polban.ac.id

Atmy Verani Rouly Sihombing
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
atmyvera
@polban.ac.id

Derina Maulinda
Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
derina.maulinda.anki21
@polban.ac.id

Muhammad Rangga Syahputra
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
muhammad.rangga.tki21
@polban.ac.id

Jhonassen Morientes Situmorang
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir Ds
Ciwaruga Kec. Parongpong
Kab. Bandung Barat 40559
jhonassen.morientes.tksi22
@polban.ac.id

Abstract

This research aims to utilize molasses waste as a partial replacement material for asphalt in AC-BC asphalt mixtures. Molasses is the final product of making sugar, which is brown in color and in the form of a thick liquid. The research method used was to test the properties and characteristics of molasses, then compare them with the properties and characteristics of Pen 60/70 asphalt. Next, tests were carried out based on the rheological properties of asphalt and the characteristics of AC-BC asphalt concrete. Variations in the levels of molasses mixed with Pen 60/70 asphalt are 0%, 5%, 10%, and 15% of the asphalt weight. Then the mixture of molasses and asphalt is used as a binder for the AC-BC asphalt mixture. Marshall Testing and Immersion Index were carried out on this asphalt mixture. This study shows that molasses has the potential to be used as a partial replacement material for asphalt in AC-BC asphalt mixtures, which still meet the Bina Marga Specifications.

Keywords: molasses waste; asphalt; asphalt mix; Marshall Testing; Immersion Index

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah molase sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada campuran beraspal AC-BC. Molase merupakan produk akhir pembuatan gula, yang berwarna coklat dan berbentuk cairan kental. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menguji sifat dan karakteristik molase, lalu membandingkannya dengan sifat dan karakteristik aspal Pen 60/70. Selanjutnya dilakukan pengujian berdasarkan sifat reologi aspal dan karakteristik beton aspal AC-BC. Variasi kadar molase yang dicampurkan pada aspal Pen 60/70 adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat aspal. Kemudian campuran molase dan aspal tersebut digunakan sebagai bahan pengikat campuran beraspal AC-BC. Terhadap campuran beraspal ini dilakukan Pengujian Marshall dan Indeks Perendaman. Studi ini menunjukkan bahwa molase berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada campuran beraspal AC-BC, yang masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga.

Kata-kata kunci: limbah molase; aspal; campuran beraspal; Pengujian Marshall; Indeks Perendaman

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang sangat penting dan dapat berpengaruh terhadap kemajuan bidang-bidang ekonomi, sosial, budaya maupun politik di suatu wilayah.

Karena itu, diperlukan peningkatan jalan, secara kuantitas maupun kualitas, yang memenuhi kebutuhan masyarakat, yang meliputi kenyamanan dan keamanan bagi pengemudi, yang menyebabkan jalan perlu didukung oleh perkerasan yang baik.

Pada perkerasan jalan beraspal, digunakan bahan pengikat aspal. Aspal merupakan material perekat, berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh langsung di alam atau sebagai hasil produksi, yang berasal dari hasil penyulingan minyak bumi. Aspal bersifat termoplastis, yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan (Faritzie et al., 2019).

Jumlah aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% hingga 10% berdasarkan berat campuran, atau 10% hingga 15% berdasarkan volume campuran (Sihombing et al., 2022). Saat ini, kebutuhan aspal nasional adalah sebesar 1,2 juta ton per tahun, yang dipenuhi oleh aspal minyak produksi Pertamina, sebanyak 272.040 ton (22,27%) (Miswanto et al., 2023), dan sisa kebutuhan aspal nasional dipenuhi oleh impor. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan substitusi aspal untuk menekan impor aspal agar kebutuhan aspal tetap terpenuhi.

Bahan substitusi aspal yang diperlukan adalah bahan yang murah dan mudah didapat di Indonesia, namun memiliki karakteristik serupa dengan aspal dan dapat meningkatkan sifat fisik aspal. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa molase dapat digunakan sebagai bahan substitusi aspal (Kurniawan et al., 2019; Le, 2021; Firdayanti dan Fauziah, 2022). Menurut Nuningtyas et al. (2019), limbah molase di Indonesia mencapai 1,3 juta ton/tahun, dan akan mengalami peningkatan sampai 1,8 juta ton/tahun. Berdasarkan data tersebut, molase merupakan bahan yang tepat untuk digunakan sebagai bahan substitusi aspal, karena keberadaannya yang melimpah.

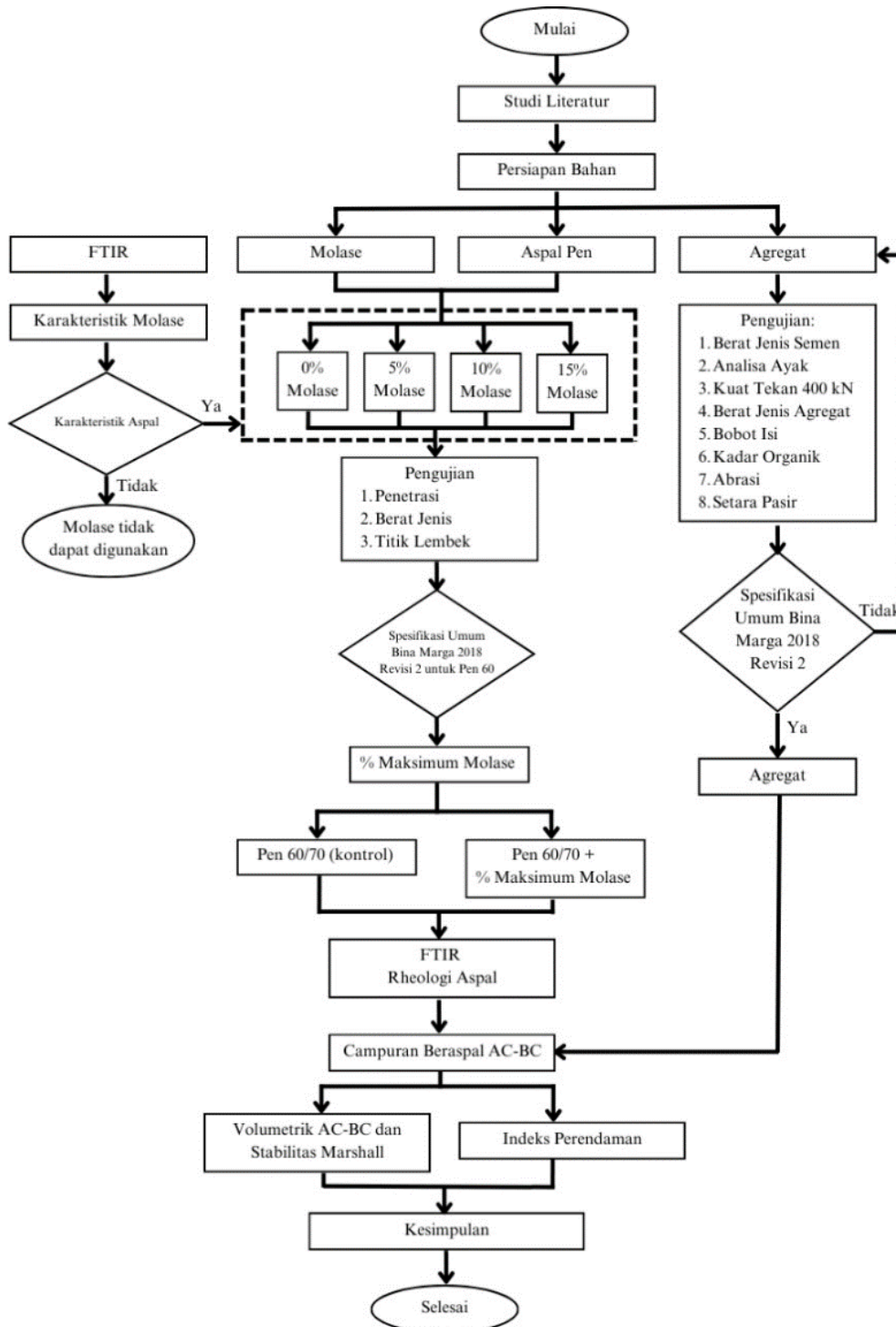
Molase atau yang sering disebut tetes tebu adalah sisa hasil kristalisasi gula yang berulang sehingga tidak memungkinkan lagi untuk diproses menjadi gula. Limbah tetes tebu (*molasses*) mengandung 32% sukrosa, 14% glukosa, dan 16% fruktosa. Molase dapat digunakan sebagai salah satu alternatif bahan tambah untuk meningkatkan sifat-sifat fisik aspal, karena molase memiliki daya pengikat yang baik, sehingga dapat meningkatkan daya ikat antara aspal dan agregat (Firdayanti dan Fauziah, 2022).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menguji ketiga bahan utama yang digunakan, yaitu aspal, agregat, dan molase. Pengujian secara kimia dilakukan untuk mengetahui karakteristik, struktur kimia, dan pH molase.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan pencampuran molase ke aspal Pen 60/70, dengan variasi kandungan molase 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat aspal, kemudian dicampur dengan alat pencampur pada temperatur 120 °C selama 15 menit sampai dengan 20 menit, dengan kecepatan 5 rpm, hingga homogen. Setelah homogen, campuran yang dihasilkan diuji berdasarkan sifat reologi aspal, yaitu uji penetrasi, uji titik

lembek, uji berat jenis, dan uji daktilitas. Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan. Selain itu, juga dilakukan uji karakteristik kimia, yaitu, uji Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Setelah dilakukan serangkaian pengujian, dilakukan pengujian efek penggunaan molase pada aspal Pen 60/70, yang mana campuran molase dan aspal tersebut digunakan sebagai pengikat agregat pada campuran AC-BC. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Molase

Pengujian pada molase bertujuan untuk memastikan bahwa molase yang digunakan memiliki kualitas yang memadai untuk memenuhi standar. Beberapa parameter yang diuji pada pengujian molase dan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengujian ini penting untuk memastikan bahwa molase dapat memberikan daya rekat yang kuat antara agregat dan aspal, sehingga campuran memiliki performa yang baik, serta memastikan bahwa molase tidak mengandung kontaminan yang dapat memengaruhi kualitas campuran.

Tabel 1 Hasil Pengujian Molase

Item Pengujian	Satuan	Hasil
pH	-	4,60
Viskositas	mPas	2,520
Berat Jenis	gr/mL	1,258
Kadar Air	%	12,2

Aspal

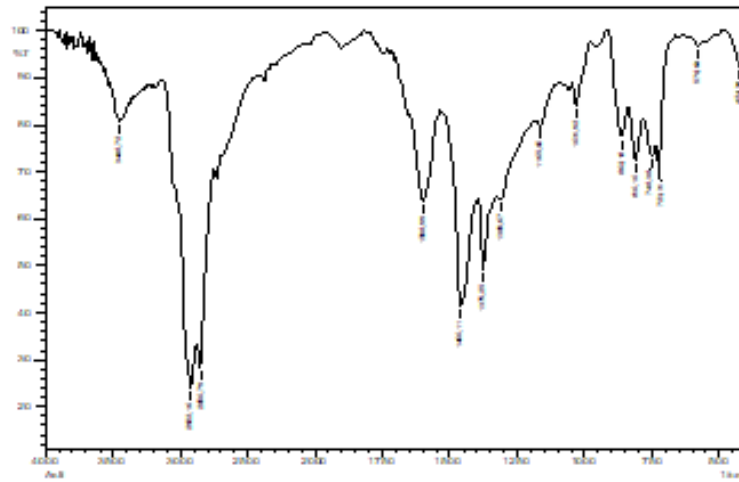
Pada campuran aspal Pen 60/70 dengan variasi molase 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat aspal, didapat hasil yang masih sesuai dengan spesifikasi aspal Pen 60/70. Pada uji penetrasi, semakin tinggi kadar molase yang ditambahkan pada aspal, semakin meningkat nilai penetrasi aspal. Sedangkan pada uji titik lembek, semakin tinggi kadar molase, semakin rendah titik lembeknya. Berdasarkan uji penetrasi dan uji titik lembek, didapat variasi molase maksimum terhadap berat aspal sebesar 15%. Pengujian viskositas dilakukan pada variasi molase maksimum, untuk mendapatkan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan guna pembuatan campuran beraspal AC-BC. Hasil pengujian pada aspal disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian pada Aspal

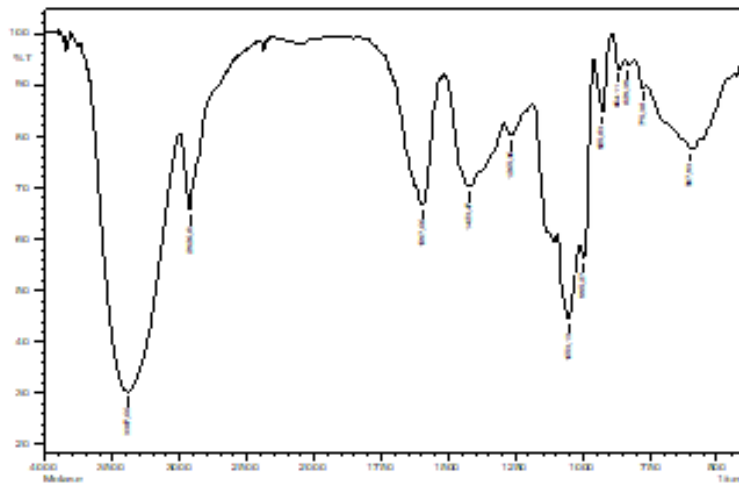
Item Pengujian	Satuan	100% Aspal	100% Aspal	100% Aspal	100% Aspal
		Pen 60/70 + 0% Molase	Pen 60/70 + 5% Molase	Pen 60/70 + 10% Molase	Pen 60/70 + 15% Molase
Uji Penetrasi	mm	64,5	71,46	74,54	75,9
Uji Berat Jenis Aspal	gr/ml	1,031	1,04	1,053	1,058
Uji Titik Lembek	°C	51	52	52	50
Uji Daktilitas	cm	>100	>100	>100	>100
Temp. Pencampuran	°C	167	-	-	146,5
Temp. Pemadatan	°C	151	-	-	137,5

Struktur Kimia Substitusi Pengikat Aspal dengan Cara FTIR

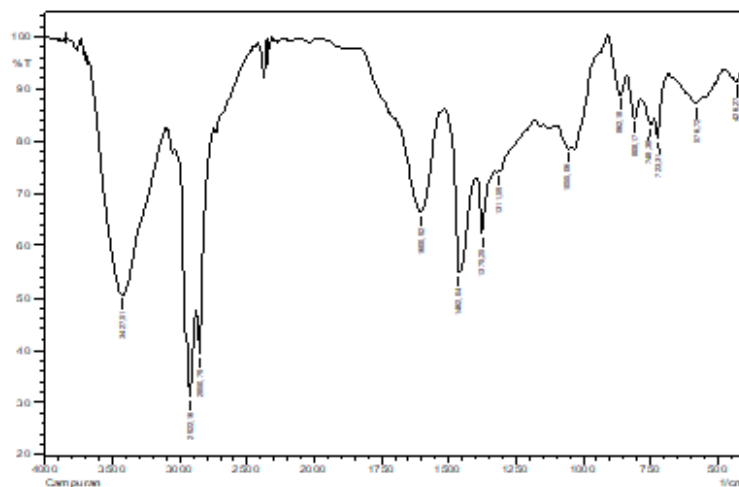
Pengujian FTIR telah dilakukan terhadap aspal Pen 60/70, molase, dan campuran aspal Pen 60/70 ditambah 15% molase. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi sampel yang diuji. Hasil pengujian FTIR dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2 Spektrum FTIR Sampel Aspal Pen 60/70



Gambar 3 Spektrum FTIR Sampel Molase



Gambar 4 Spektrum FTIR Sampel Aspal Pen 60/70 dengan Molase 15%

Pada spektrum sampel campuran aspal Pen 60/70 dengan molase 15%, terdapat bilangan gelombang 3427,51 cm⁻¹, yang mengindikasikan keberadaan gugus (O-H), yakni gugus fungsi utama molase. Keberadaan ion OH pada larutan sukrosa, dapat dilihat pada gambar spektrum FTIR sampel molase dengan bilangan gelombang 3387,00 cm⁻¹. Puncak pada bilangan gelombang 2922,16 cm⁻¹ mengindikasikan keberadaan aspal, yang ditandai oleh adanya gugus (C-H). Aspal merupakan bahan hidrokarbon dan hasil ini menunjukkan bahwa gugus O-H terbentuk setelah penambahan molase. Gugus fungsi yang terlihat adalah gugus fungsi yang terkait dengan molase dan aspal dan tidak ada gugus fungsi baru yang muncul. Hal ini membuktikan bahwa tidak terjadi reaksi antara molase dan aspal. Hasil FTIR aspal setelah penambahan molase menunjukkan bahwa semakin tajam intensitas serapan, semakin terbentuk ikatan antara aspal dengan molase. Berdasarkan hasil analisis FTIR, sampel aspal sebelum penambahan molase menunjukkan gugus C-H yang dominan, namun setelah penambahan molase, muncul gugus O-H, yang mengindikasikan terjadinya ikatan antara aspal dengan molase.

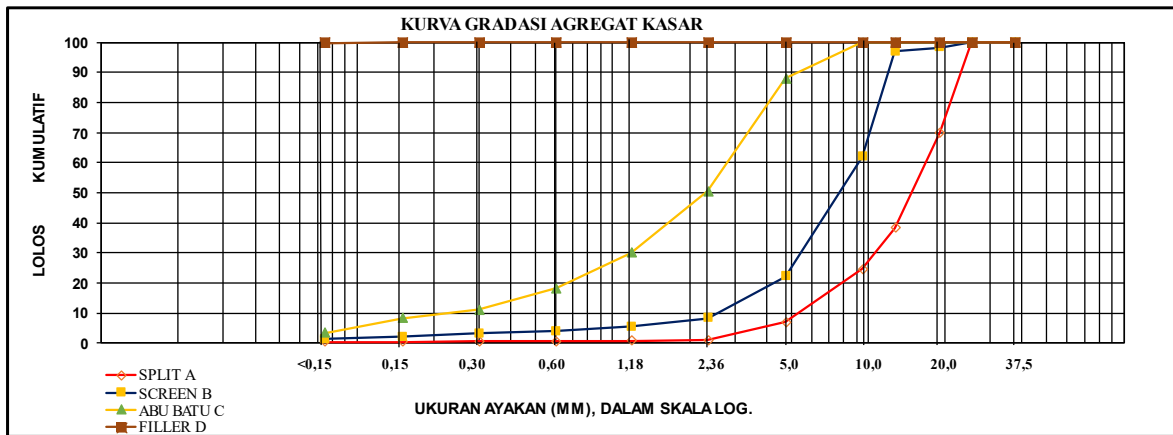
Agregat

Pada agregat dilakukan serangkaian pengujian untuk memastikan kualitas dan untuk mengetahui karakteristik agregat yang memengaruhi kemampuan kerja campuran, daya tahan, dan daya rekat antara agregat dengan bahan pengikat. Dari pengujian yang dilakukan didapat hasil yang menyatakan bahwa agregat memenuhi standar yang ditentukan. Hasil pengujian terhadap agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

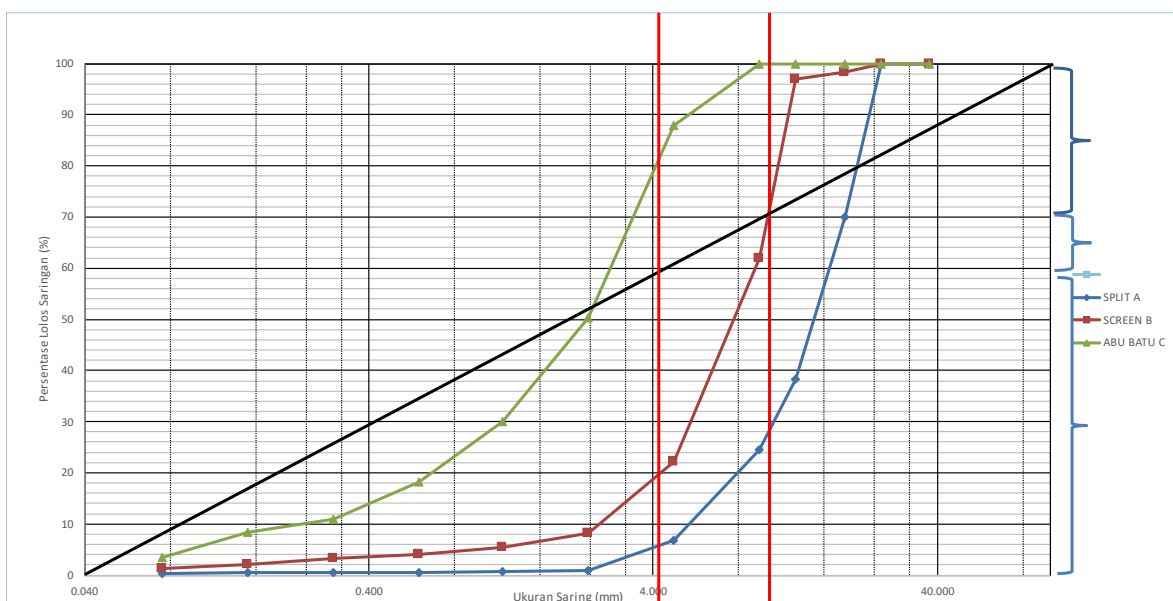
Untuk membuat campuran beraspal AC-BC, perlu diketahui proporsi split, screen, abu batu, dan *filler*. Karena itu, dilakukan analisis saringan pada agregat dan didapat proporsi yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 3 Hasil Pengujian pada Molase

Item Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis Semen	gr/ml	2,85
Kuat Tekan 400 kN	%	22,72
Bobot Isi Padat Agregat Kasar	gr/cm ³	1,453
Bobot Isi Gembur Agregat Kasar	gr/cm ³	1,374
Bobot Isi Padat Agregat Halus	gr/cm ³	1,693
Bobot Isi Gembur Agregat Halus	gr/cm ³	1,657
Kadar Organik	-	Rendah
Abrasi	%	21,35
Setara Pasir	%	88,30
Berat Jenis SSD	gr/cm ³	2,48
Berat Jenis Kering	gr/cm ³	2,27
Berat Jenis Curah	gr/cm ³	2,73



Gambar 5 Analisis Saringan



Gambar 6 Proporsi Agregat untuk Campuran Beraspal AC-BC

Campuran Beraspal AC-BC

Molase pada campuran beraspal AC-BC berfungsi sebagai bahan pengganti Sebagian aspal Pen 60/70. Berdasarkan hasil pengujian aspal diketahui bahwa kandungan maksimal molase untuk mengganti sebagian aspal adalah 15%. Karena itu, dibuat dua macam campuran beraspal AC-BC:

- 1) AC-BC menggunakan aspal Pen 60/70 dengan 0% molase atau AC-BC + 0% Molase
- 2) AC-BC menggunakan aspal Pen 60/70 dengan 15% molase atau AC-BC + 15% Molase

Campuran beraspal dirancang dengan kadar aspal yang digunakan ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 1.18(\%Filler) + K \quad (1)$$

dengan:

Pb = kadar aspal acuan, persen terhadap berat campuran

CA = persen agregat kasar (tertahan ayakan Nomor 4)

FA = persen agregat halus (lolos ayakan Nomor 4 dan tertahan ayakan Nomor 200)

Filler = persentase filler (lolos ayakan Nomor 200)

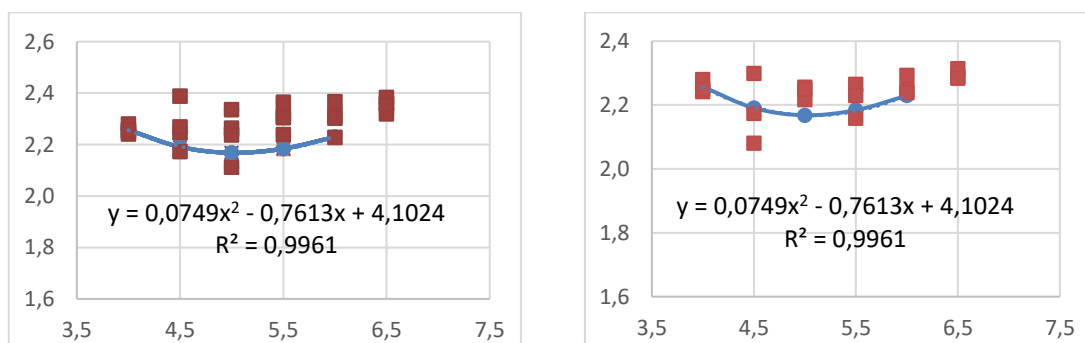
K = konstanta (0,5-1)

Berdasarkan gradasi agregat campuran AC-BC, didapat nilai Pb sebesar 5%. Selanjutnya, dibuat campuran menggunakan kandungan aspal tersebut. Pengujian yang dilakukan terhadap campuran pada penelitian ini terdiri atas volumetrik, stabilitas, flow, dan Indeks Perendaman, sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Jumlah benda uji yang dibuat terdapat pada Tabel 4.

Selanjutnya aspal dan agregat dipanaskan lalu dicampur pada temperatur pencampuran selama 60 detik hingga mencapai temperatur pemadatan, lalu dimasukkan ke dalam Cetakan Marshall dan ditumbuk di kedua sisinya, masing-masing sebanyak 75 kali. Selanjutnya sampel dikeluarkan dari cetakan dan diuji secara volumetrik. Sebelum diuji, benda-benda uji direndam dalam air dengan temperatur tetap (60 ± 1) °C selama 30 menit, lalu diikuti oleh pengujian stabilitas dan flow. Untuk uji Indeks Perendaman, dibuat benda uji yang sama, tetapi berbeda pada waktu perendaman, yaitu 30 menit dan 24 jam.

Tabel 4 Jumlah Benda Uji

Jenis Campuran	Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji	Suhu Pencampuran	Suhu Pemadatan
AC-BC + 0% Molase	Volumetrik dan Marshall	18	157 °C	150 °C
	Indeks Perendaman	3		
AC-BC + 15% Molase	Volumetrik dan Marshall	18	146,5 °C	137,5 °C
	Indeks Perendaman	3		

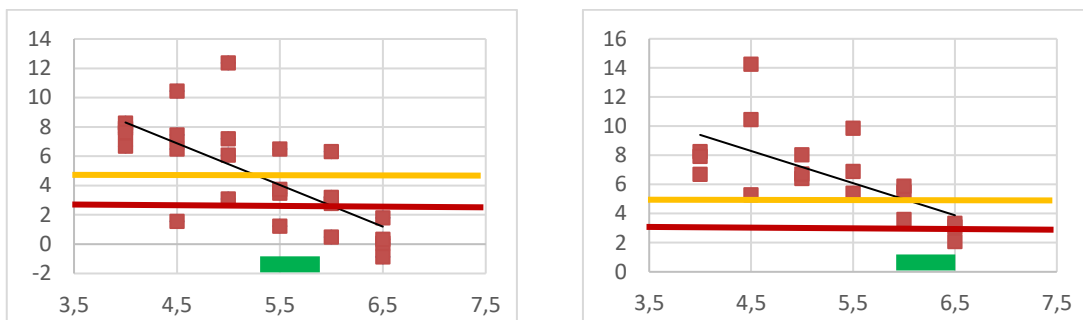


Gambar 7 Density pada Campuran Beraspal AC-BC (Kiri) dan Campuran Beraspal AC-BC + Molase (Kanan) terhadap Kadar Aspal

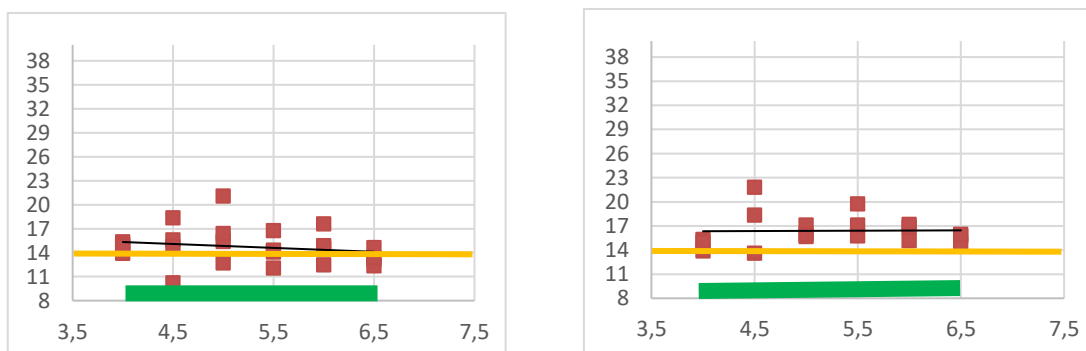
Hasil Pengujian Marshall untuk Campuran Beraspal AC-BC dan untuk Campuran Beraspal AC-BC dengan Molase dapat dilihat pada Gambar 7 hingga Gambar 12. Nilai-nilai yang digunakan merupakan nilai rata-rata setiap benda uji yang dibuat untuk campuran

tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan molase berpengaruh terhadap beberapa hal, yaitu:

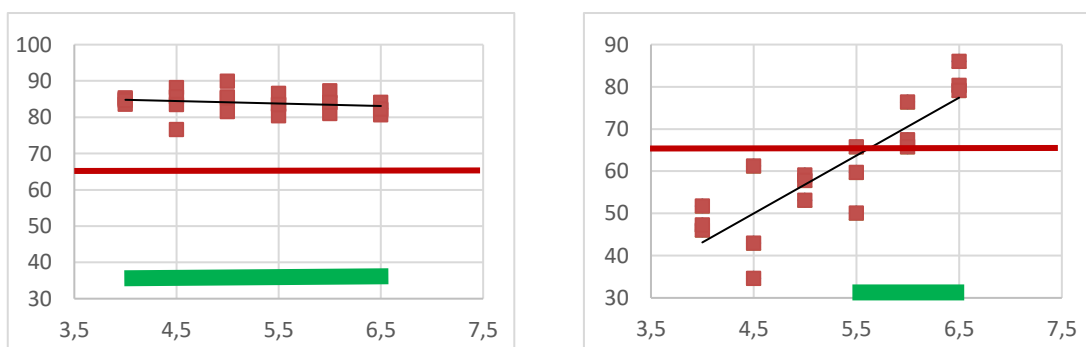
- 1) Pada nilai *density*, kedua jenis campuran memberikan nilai yang tidak jauh berbeda.
- 2) Pada nilai VMA, terjadi peningkatan setelah penambahan molase pada campuran.
- 3) Pada nilai Stabilitas, kedua jenis campuran memberikan nilai yang memenuhi spesifikasi, namun campuran beraspal AC-BC dengan Molase memberikan nilai yang lebih besar.
- 4) Pada Indeks Perendaman, kedua campuran memberikan hasil yang masih memenuhi spesifikasi, yaitu lebih besar daripada 90%



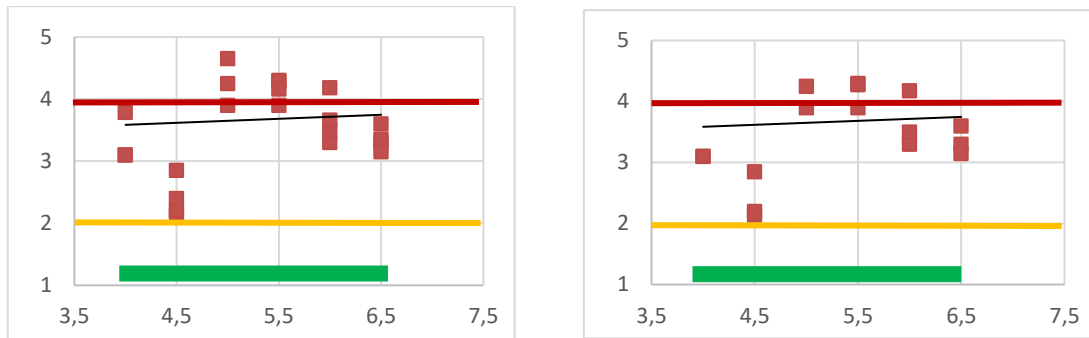
Gambar 8 VIM Campuran Beraspal (Kiri) dan Campuran Beraspal dengan Molase (Kanan)



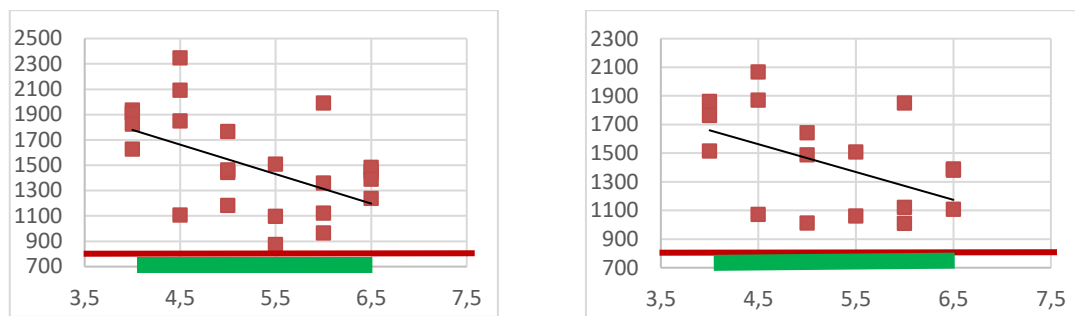
Gambar 9 VMA Campuran Beraspal (Kiri) dan Campuran Beraspal dengan Molase (Kanan)



Gambar 10 VFB Campuran Beraspal (Kiri) dan Campuran Beraspal dengan Molase (Kanan)



Gambar 11 Flow Campuran Beraspal (Kiri) dan Campuran Beraspal dengan Molase (Kanan)



Gambar 12 Stabilitas Campuran Beraspal (Kiri) dan Campuran Beraspal dengan Molase (Kanan)

Tabel 5 Kadar Aspal Optimum pada Campuran Beraspal dengan Molase

Volumetrik	Kadar Aspal (%)					
	4	4,5	5	5,5	6	6,5
VMA	6,25					
VIM						
VFB						
Stability						
Flow						
VIM-PRD						
KAO	6,25					

Tabel 6 Hasil Pengujian Indeks Perendaman Campuran Beraspal dengan 15% Molase

Waktu	Berat Aspal		Stabilitas		Flow (mm)	Stabilitas untuk Indeks Perendaman (kg)
	Terhadap Berat Campuran (%)	Bacaan Alat Divisi (divisi)	Konversi Proving Ring (kg)	Setelah Dikoreksi (kg)		
24 jam	6,25	625	1617,25	1617,25	7,11	1489,51
	6,25	615	1591,37	1527,72	8,62	
	6,25	550	1423,18	1323,56	5,76	
30 menit	6,25	590	1526,68	1465,62	6,66	1637,44
	6,25	852	2204,63	2050,31	5,8	
	6,25	584	1511,16	1405,38	5,71	
Nilai Indeks Perendaman						91%

Berdasarkan Tabel 5, didapat kadar aspal optimum sebesar 6,25% yang digunakan untuk pengujian Indeks Perendaman. Hasil-hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan terhadap molase untuk digunakan sebagai suatu alternatif bahan untuk menggantikan aspal dalam campuran beraspal AC-BC. Molase ini diharapkan dapat meningkatkan sifat-sifat fisik aspal, karena molase juga memiliki daya pengikat yang baik. Dari hasil pengujian terhadap molase sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada campuran beraspal AC-BC, diperoleh kesimpulan berikut:

- 1) Berdasarkan hasil parameter pengujian pada molase, seperti viskositas, pH, berat jenis, dan densitas dapat diketahui bahwa molase memenuhi karakteristik sebagai bahan untuk substitusi aspal.
- 2) Berdasarkan hasil uji penetrasi dan uji titik lembek, kadar maksimal molase sebagai bahan pengganti sebagian aspal adalah 15% terhadap berat aspal.
- 3) Berdasarkan hasil uji reologi aspal dapat diketahui bahwa penggunaan molase dengan kadar 15% terhadap berat aspal masih memberikan karakteristik yang memenuhi standar aspal Pen 60/70 sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018.
- 4) Berdasarkan pengujian Indeks Perendaman, penggunaan molase memberi pengaruh yang signifikan terhadap campuran beraspal AC-BC.

DAFTAR PUSTAKA

- Faritzie, H.A., Djohan, B., dan Wijaya, B. 2019. *Pengaruh Volume Kendaraan terhadap Tingkat Kerusakan Jalan pada Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)*. Jurnal Teknik Sipil UNPAL, 9 (2): 100–107.
- Firdayanti dan Fauziah, N. 2022. *Pengaruh Penggunaan Molase Terhadap Campuran Beraspal Porus*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Kurniawan, N.A., Winarto, S., dan Ridwan, A. 2019. *Penelitian Penambahan Bahan Limbah Tetes Tebu dari Pabrik Gula Meritjan pada Campuran Aspal Beton*. JURMATEKS, 2 (1): 96–105.
- Le, V.P. 2021. *Performance of Asphalt Binder Containing Sugarcane Waste Molasses in Hot Mix Asphalt*. Case Studies in Construction Materials, 15:1–8.
- Miswanto, A., Suherman, I., Suseno, T., dan Pravianto, W. 2023. *Study of Supply-Demand of Indonesia Buton Asphalt*. Indonesian Mining Journal, 26 (1): 49–59.
- Nuningtyas, Y.F., Ndaru, P.H., dan Huda, A.N. 2019. *Pengaruh Perbedaan Molases sebagai Penyusun Urea Molases Blok (UMB) terhadap Kualitas Fisik Pakan*. Jurnal Nutrisi Ternak Tropis, 2 (1): 70–74.

Sihombing, A.V.R., Utami, R., Kasih, P.T., dan Ainy, S.L. 2022. Pengaruh Penambahan Glycerin Pitch Terhadap Propertis Aspal. Prosiding 13th Industrial Reasearch Workshop and National Seminar, 13 (1): 525–529.