

Modulus Elastisitas dan Karakteristik *Marshall* Struktur Beton Aspal dengan Serbuk Kulit Manggis Sebagai Pengganti Agregat Halus

Dian M. Setiawan^{a*}, Muhammad Daffa Dakhilullah^a, Lavina Ngesti Bintari^b, Wahyu Widodo^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

^b Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Universitas Gadjah Mada

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v5i1.26084>

Abstrak

Keberadaan jaringan jalan yang memadai dan berkualitas baik dapat membantu memperkecil kesenjangan antara satu wilayah dengan wilayah lainnya. Salah satu material jalan yang cukup sering digunakan di Indonesia yaitu aspal beton. Material alternatif berupa serbuk kulit manggis digunakan pada studi ini sebagai pengganti agregat halus dengan ukuran butir lolos saringan No. 50 dan tertahan saringan No. 100 pada struktur beton aspal lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengujian *Marshall*, menghitung nilai modulus elastisitas, dan menganalisis karakteristik tegangan-regangan menggunakan pendekatan program KENPAVE. Kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,5% yang diperoleh dari serangkaian pengujian dengan memvariasikan kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dengan jumlah sampel sebanyak 2 benda uji untuk setiap variasi kadar aspal. Pengujian *Marshall* dengan pengganti agregat halus serbuk kulit manggis menggunakan 5 variasi kadar yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dengan jumlah benda uji sebanyak 3 benda uji untuk setiap kadar serbuk kulit manggis. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa variasi kadar serbuk manggis yang memenuhi spesifikasi terdapat pada variasi kadar 0% dan 25%. Berdasarkan hasil analisis perhitungan modulus elastisitas didapatkan nilai tertinggi terdapat pada kadar 0% benda uji 2 sebesar 546.701,73 psi. Sedangkan hasil analisis menggunakan program KENPAVE didapatkan nilai *horizontal tensile strength* sebesar 0,02102 dan *vertical compressive strain* sebesar 0,07875 serta umur rencana jalan selama 12,7 tahun.

Kata-kata kunci: KENPAVE, *Marshall*, Modulus Elastisitas, Serbuk Kulit Manggis.

Abstract

The existence of an adequate and good quality road network can help minimize the gap between one region and another. One of the most commonly used road materials in Indonesia is asphalt concrete. In this research, alternative mangosteen peel powder will be used as a substitute for fine aggregate with grain size passing sieve No.50 and retained sieve No.100 in the asphalt concrete structure of the AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) layer. This research aims to analyze the *Marshall* test results, calculate the modulus of elasticity, and analyze the stress-strain characteristics using the KENPAVE program approach. In this study, the asphalt content used was the optimum asphalt content of 6.5% obtained from a series of tests by varying the asphalt content by 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7% with a total of 2 samples of each variation of content. *Marshall* testing with fine aggregate replacement of mangosteen peel powder uses 5 variations of levels, namely 0%, 25%, 50%, 75%, 100% with a total of 3 specimens per level. The *Marshall* test results show that the variation levels that meet the specifications are at 0% and 25% variation levels. Based on the analysis of the calculation of the modulus of elasticity, the highest value is found in specimen 2 with 0% content, which is 546,701.73 psi. While the results of the analysis using KENPAVE program obtained a *horizontal tensile strength* value of 0.02, a *vertical compressive strain* of 0.08, and a road service life of 12.70 years.

Keywords: Elastic Modulus, KENPAVE, Mangosteen Peel Powder, *Marshall*.

Article History

Received

3 Desember 2024

Revised

11 January 2025

Accepted

15 February 2025

*Correspondence Author

diansetiawanm@ft.umy.ac.id

© 2025. Bulletin of Civil Engineering UMY

1 PENDAHULUAN

Pembangunan jalan memegang peran krusial dalam pengembangan wilayah. Dengan Jaringan jalan yang baik membantu mengurangi kesenjangan antar wilayah. Aksesibilitas yang merata memungkinkan distribusi sumber daya dan peluang ekonomi ke berbagai daerah

berjalan dengan cepat. Dalam pembangunan jalan juga diperlukan pengawasan baik dari material yang digunakan maupun pada saat pengerjaan pembangunan jalan, agar didapatkan sebuah jalan yang berkualitas. Salah satu material jalan yang cukup sering digunakan di Indonesia yaitu aspal beton. Data Kementerian PUPR menunjukkan

bahwa jaringan jalan di Indonesia didominasi oleh perkerasan aspal beton (Mulyawan et al., 2019).

Penggunaan aspal beton sebagai pilihan utama dalam konstruksi jalan di Indonesia dikarenakan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan material lainnya. Menurut Baskoro (2016), kelebihan aspal beton antara lain Proses pengerjaan yang sangat cepat membuat pekerjaan lebih efisien dari segi waktu, lapisan konstruksi aspal beton memiliki sifat kedap air atau tahan terhadap air, dapat dilewati kendaraan segera setelah proses penghamparan selesai, pemeliharannya relatif mudah dan murah, memiliki nilai stabilitas yang tinggi sehingga dapat menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi. Aspal beton atau yang sering disebut sebagai *hotmix* merupakan jenis lapisan perkerasan jalan yang terbuat dari campuran antara agregat dan aspal secara homogen, yang dapat ditambahkan bahan lain atau tidak (Sukirman, 2016; Dinata et al., 2017; Rahmawati et al., 2018; Rahmawati et al., 2021). Proses pembuatannya melibatkan pencampuran aspal keras pada suhu berkisar antara 150 hingga 170°C. Setelah dicampur, aspal beton dihampar dan dipadatkan dalam kondisi masih panas.

Salah satu komponen dari aspal beton yaitu agregat halus, agregat halus adalah material berbutir kecil yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Pada umumnya agregat halus yang digunakan terdiri dari pasir alam atau pasir buatan seperti pasir hasil pemecahan batu. Pada penelitian kali ini akan digunakan alternatif serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus dengan ukuran butir lolos saringan No.50 dan tertahan saringan No.100 pada struktur beton aspal lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*). Salah satu alasan penggunaan serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus dikarenakan produksi buah manggis yang cukup tinggi di Indonesia. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Hortikultura pada tahun 2019 saja produksi manggis nasional mencapai 246,48 ribu ton, dan diperkirakan terus meningkat setiap tahunnya. Dari Produksi manggis yang cukup tinggi tersebut menimbulkan dampak meningkatnya limbah dari kulit manggis (Kementerian Pertanian, 2020). Selain produksi buah manggis yang tinggi, menurut penelitian yang dilakukan Mukti et al., (2015) terdapat kandungan *lignin* dalam kulit manggis yang diindikasikan dapat meningkatkan kualitas aspal beton. Maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait lapis perkerasan dengan serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus dapat memenuhi mutu dan limbah serbuk kulit manggis dapat dimanfaatkan (Nugroho, 2015).

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Umum

Proses pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengujian pada sampel benda uji. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut kemudian diolah lebih lanjut. Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari hasil pengujian laboratorium. Sementara data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah data penelitian terdahulu, spesifikasi dan standar, serta data parameter konstruksi jalan dari

penelitian sebelumnya (Dinata et al., 2017; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018; Rahmawati et al., 2021). Pada penelitian ini, pengumpulan data dibagi menjadi dua kategori, yaitu pengumpulan data hasil pemeriksaan material (penetrasi aspal, titik lembek aspal, kehilangan berat minyak, daktilitas, berat jenis aspal, keausan agregat, berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan agregat halus) dan pengumpulan data hasil pengujian benda uji (*hotmix*, pemadatan, pengujian *Marshall*). Setelah itu dilakukan analisis dari hasil pengujian *Marshall* yang meliputi stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, *Density* dan *Marshall Quotient*. Selain dilakukan analisis dari pengujian *Marshall*, juga akan dilakukan analisis tegangan-regangan beton aspal dengan pendekatan mekanistik-empirik menggunakan program *KENPAVE*. Pengujian pada penelitian ini terbatas pada uji *Marshall* dan perhitungan modulus elastisitas yang dikorelasikan dari nilai stabilitas, serta analisis tegangan-regangan menggunakan *KENPAVE*.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian dan serangkaian pengujian dilakukan di Gedung G5 lantai dasar ruang Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pelaksanaan penelitian dan serangkaian pengujian ini berlangsung dalam rentang waktu Maret 2024 hingga Juni 2024.

2.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa langkah dalam proses pengujian. Diantaranya akan dilakukan pengujian *Marshall* pada sampel yang telah dibuat. Selanjutnya akan dilakukan analisis perhitungan nilai modulus elastisitas dan analisis tegangan regangan menggunakan program *KENPAVE*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1 dan bagan alir pengujian pada Gambar 2.

2.4 Perencanaan Campuran

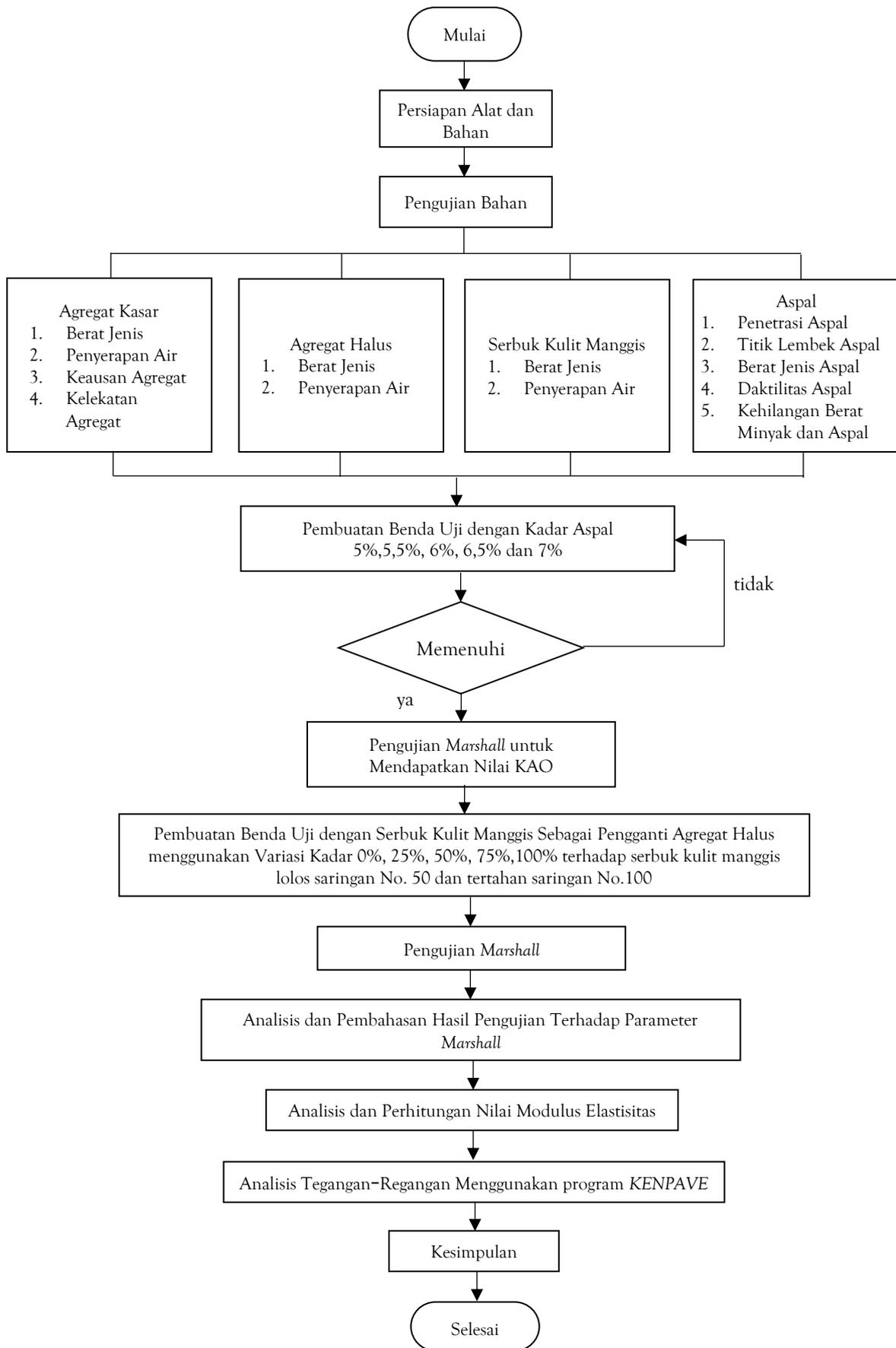
Penelitian ini menggunakan variasi aspal dengan kadar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Sedangkan pengganti agregat halus menggunakan variasi kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini memiliki jumlah sebanyak 15 sampel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tahapan analisis penelitian dan tahapan analisis *KENPAVE* dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 1 Jumlah sampel penentuan kadar aspal optimum (KAO)

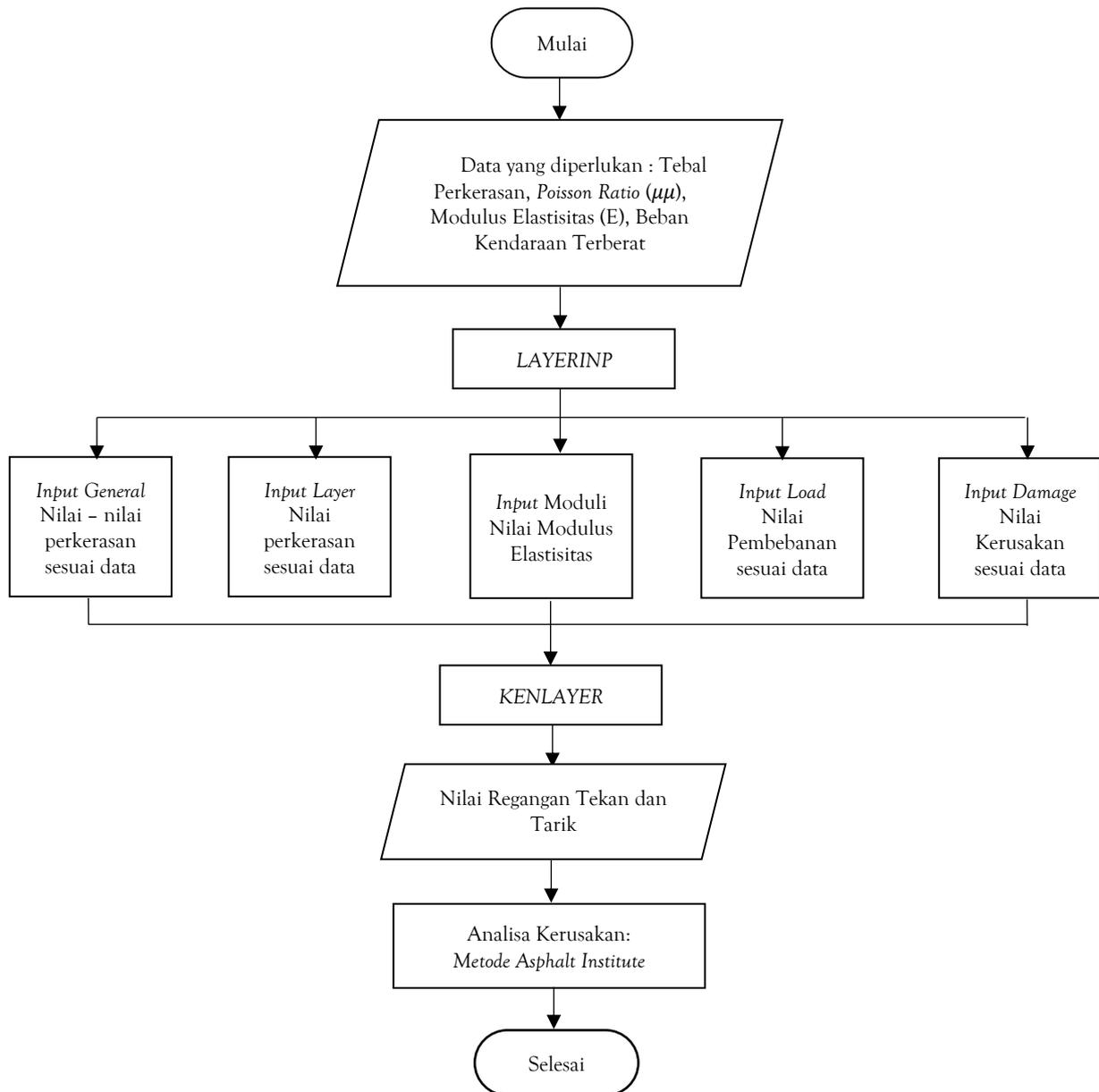
Variasi Kadar Aspal	Jumlah Sampel	Berat Aspal (gram)/Benda Uji
5%	2	63,20
5,5%	2	69,84
6%	2	76,60
6,5%	2	83,42
7%	2	90,32

Tabel 2 Jumlah sampel campuran serbuk kulit manggis

Kadar serbuk Kulit Manggis	Jumlah Sampel	Serbuk Kulit Manggis (gram)/Benda Uji
0%	3	0
25%	3	15
50%	3	30
75%	3	45
100%	3	60



Gambar 1 Tahapan analisis penelitian



Gambar 2 Tahapan analisis KENPAVE

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang bersumber dari daerah Celereng, Kulonprogo, telah diuji melalui berbagai pemeriksaan agregat dengan tujuan untuk memastikan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan dan layak digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan benda uji. Pengujian agregat kasar dan agregat halus diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Setiawan, Gufron, & Widodo, 2024)

Agregat kasar

Setelah melakukan serangkaian pengujian fisik terhadap agregat kasar, diperoleh hasil yang memenuhi seluruh persyaratan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Hasil dari pengujian agregat kasar pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Agregat halus

Setelah melakukan serangkaian pengujian fisik terhadap agregat halus, diperoleh hasil yang memenuhi seluruh persyaratan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Hasil dari pengujian agregat halus pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Hasil pengujian agregat kasar (Setiawan, Gufron, & Widodo, 2024)

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Standar Pengujian
1.	Berat Jenis Curah Kering	$\geq 2,5$	2,60	SNI 1969: 2016
2.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	$\geq 2,5$	2,66	SNI 1969: 2016
3.	Berat Jenis Semu	$\geq 2,5$	2,77	SNI 1969: 2016

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Standar Pengujian
4.	Penyerapan Air (%)	≤ 3	2,3374	SNI 1969: 2016
5.	Keausan Agregat (%)	≤ 40%	20,26	SNI 2417: 2008
6.	Kelekatatan Agregat (%)	≥ 95%	96,50	SNI 2439:2011

Tabel 4 Hasil pengujian agregat halus (Setiawan, Gufron, & Widodo, 2024)

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Standar Pengujian
1.	Berat Jenis Curah Kering	≥ 2,5	2,50	SNI 1970:2016
2.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,5	2,57	SNI 1970:2016
3.	Berat Jenis Semu	≥ 2,5	2,67	SNI 1972:2016
4.	Penyerapan Air (%)	≤ 3	2,52	SNI 1970:2016

3.2 Pengujian Serbuk kulit manggis

Serbuk Kulit Manggis yang bersumber dari PT. Mustika Djamue Herbal Kabupaten Situbondo. Setelah melakukan serangkaian pengujian fisik terhadap agregat halus, diperoleh hasil yang belum memenuhi seluruh persyaratan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Namun dengan hasil tersebut masih akan tetap dilanjutkan pembuatan campuran benda uji *Marshall* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh serbuk kulit manggis terhadap parameter *Marshall*. Hasil dari pengujian serbuk kulit manggis dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengujian serbuk kulit manggis

Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Standar Pengujian
Berat Jenis Curah Kering	≥ 2,5	0,6884	SNI 1970:2016
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	≥ 2,5	1,0721	SNI 1970:2016
Berat Jenis Semu	≥ 2,5	1,1170	SNI 1970:2016
Penyerapan Air	≤ 3	55,7284	SNI 1970:2016

3.3 Pengujian Aspal

Setelah melakukan serangkaian pengujian fisik terhadap agregat halus, diperoleh hasil yang memenuhi seluruh persyaratan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Hasil dari pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengujian aspal

Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Penetrasi (mm) SNI 2432:2011	60-70	65,1	Memenuhi
Titik Lembek (°C) SNI 2439:2011	>48	50,5	Memenuhi
Kehilangan Minyak (%) SNI 2441:2011	≤0,4	0,2383	Memenuhi
Daktilitas (cm) SNI 2432:2011	100-200	131	Memenuhi
Berat Jenis (%) SNI 06-2440-1991	>1	1,0528	Memenuhi

3.4 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO

Hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan kadar aspal 6,5% berhasil memenuhi seluruh kriteria yang ditetapkan. Kadar aspal optimum yang akan digunakan untuk melakukan pengujian serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus pada lapisan AC-WC adalah kadar 6,5%. Hasil rata-rata dari pengujian *Marshall* KAO dan Penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) ini dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7 Hasil pengujian *Marshall* KAO

Pengujian	Spesifikasi	Variasi Aspal				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
DENSITY	-	2,20	2,27	2,29	2,28	2,27
VFA	Min 65%	50,9	65,5	71,6	75,0	77,7
VIM	3 - 5%	10,1	6,33	5,18	4,70	4,4
VMA	Min 15%	20,5	18,21	18,21	18,79	19,5
STABILITI	Min 800 kg	1409,9	1483,9	1391,7	1175,87	1188,2
FLOW	2 - 4 mm	5,98	5,2	3,6	3,45	6,5
MQ	Min 250 kg/mm	240,1	284,3	283,0	342,0	184,5

Tabel 8 Penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO)

Pengujian	Spesifikasi	Variasi Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
DENSITY	-	[Bar chart showing density values across asphalt percentages]				
VFA	Min 65%	[Bar chart showing VFA values across asphalt percentages]				
VIM	3 - 5%	[Bar chart showing VIM values across asphalt percentages]				
VMA	Min 15%	[Bar chart showing VMA values across asphalt percentages]				
STABILITY	Min 800	[Bar chart showing stability values across asphalt percentages]				
FLOW	2 - 4 mm	[Bar chart showing flow values across asphalt percentages]				
MQ	Min 250	[Bar chart showing MQ values across asphalt percentages]				

3.5 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Serbuk Kulit Manggis sebagai Pengganti Agregat Halus

Setelah menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran lapisan aspal beton, dilakukan penggantian agregat halus yang tertahan pada saringan No.100 dengan serbuk kulit manggis. Variasi kadar serbuk kulit manggis yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan masing masing kadar aspal 2 buah benda uji. Selanjutnya, dilakukan pengujian *Marshall* untuk mengukur berbagai parameter campuran seperti kepadatan (*Density*), VMA (*Voids in Mineral aggregate*), VFA (*Voids Filled with Asphalt*), VIM (*Voids in the Mix*), kelelahan (*flow*), stabilitas (*Stability*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9 hingga Tabel 15, sedangkan grafik pengujian dapat dilihat dari Gambar 3 hingga Gambar 8.

Nilai VIM pada campuran beton aspal dengan bahan pengganti serbuk kulit manggis menunjukkan bahwa peningkatan persentase dalam campuran berbanding lurus dengan peningkatan nilai VIM. Hal ini dikarenakan prosentase rongga yang ada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam campuran setelah proses pemadatan masih banyak seiring bertambahnya kadar serbuk kulit manggis. Hasil menunjukkan nilai VIM yang masuk dalam spesifikasi adalah 3% - 5% (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Dari penelitian yang telah

dilakukan hanya terdapat 2 benda uji yang masuk dalam spesifikasi tersebut yaitu benda uji dengan kadar serbuk kulit manggis 0% dan 25%.

Didapatkan hasil semakin banyak presentase kadar serbuk kulit manggis, nilai VMA cenderung meningkat dibandingkan dengan campuran agregat halus yang tidak diganti menggunakan serbuk kulit manggis. Dengan digantinya agregat halus menggunakan serbuk kulit manggis, rongga dalam agregat bertambah banyak karena serbuk kulit manggis memiliki cukup banyak rongga seiring dengan hasil pengujian penyerapan air serbuk kulit manggis yang cukup tinggi dengan nilai 55,73%. Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 menunjukkan VMA yang masuk dalam spesifikasi adalah minimum 15% (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Tabel 9 Hasil pengujian kepadatan (*density*) penambahan serbuk kulit manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	2,28	2,26	2,20	2,16	2,18
B	2,28	2,28	2,23	2,21	2,13
C	2,29	2,29	2,20	2,23	2,14
Rata-rata	2,28	2,28	2,21	2,20	2,15

Tabel 10 hasil pengujian VFA penambahan serbuk kulit manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	74,94	70,53	63,10	57,62	59,87
B	75,08	74,33	66,78	64,08	54,82
C	76,42	76,87	63,19	66,72	54,97
Rata-rata	75,48	73,91	64,36	62,81	56,55

Tabel 11 Hasil pengujian VMA penambahan serbuk kulit manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	18,80	19,74	21,57	23,14	22,47
B	18,77	18,93	20,62	21,31	24,04
C	18,50	18,42	21,54	20,64	23,99
Rata-rata	18,69	19,03	21,24	21,70	23,50

Tabel 12 Hasil Pengujian Stabilitas Penambahan Serbuk Kulit Manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	1182,97	1093,39	1135,70	1182,50	1661,77
B	1191,21	1314,51	1302,20	1510,26	1575,42
C	1041,98	1353,72	1238,87	1720,88	1200,15
Rata-rata	1138,72	1253,87	1225,59	1471,21	1479,11

Tabel 13 Hasil pengujian *flow* penambahan serbuk kulit manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	3,63	2,94	5,08	6,01	6,77
B	3,27	3,78	4,73	6	6,14
C	3,24	3,75	5,90	5,54	6,28
Rata-rata	3,38	3,82	5,24	5,85	6,40

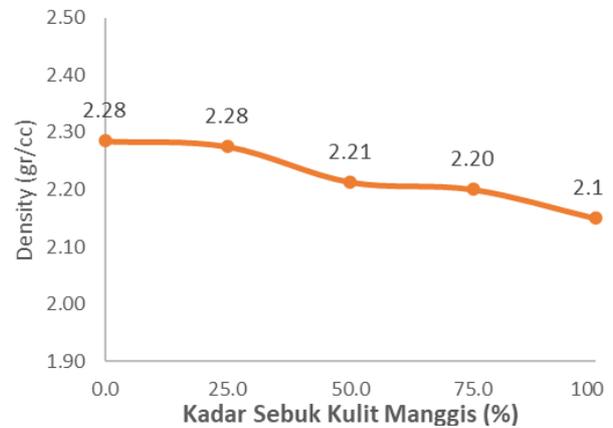
Tabel 14 Hasil Pengujian *Marshall Quotient* Penambahan Serbuk Kulit Manggis

Sampel	0%	25%	50%	75%	100%
A	325,89	277,51	223,56	196,76	245,46
B	364,28	347,75	275,31	251,71	256,58
C	321,60	360,99	209,98	310,68	191,11
Rata-rata	337,26	328,75	236,28	253,03	231,05

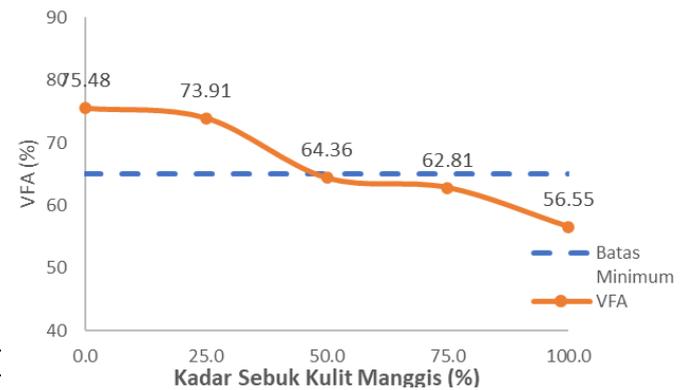
Tabel 15 Hasil rata rata pengujian *Marshall* menggunakan pengganti serbuk kulit manggis

Pengujian	Spesifikasi	Variasi Kadar Serbuk Kulit Manggis				
		0%	25%	50%	75%	100%
DENSITY	-	2,28	2,28	2,21	2,20	2,15
VFA	Min 65%	75,48	73,91	64,36	62,81	56,55

VIM	3 - 5%	4,58	4,98	7,58	8,11	10,23
VMA	Min 15%	18,69	19,03	21,24	21,70	23,50
STABILITI	Min 800 kg	1138,72	1253,87	1225,59	1471,21	1479,11
FLOW	2 - 4 mm	3,38	3,82	5,24	5,85	6,40
MQ	Min 250 kg/mm	337,26	328,75	236,28	253,03	231,05



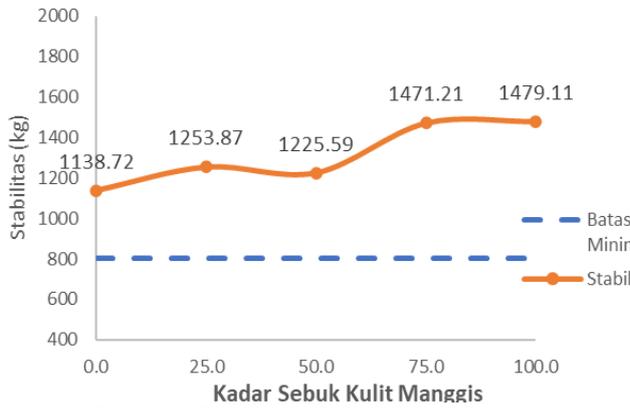
Gambar 3 Grafik hubungan kepadatan dan variasi penambahan serbuk kulit manggis



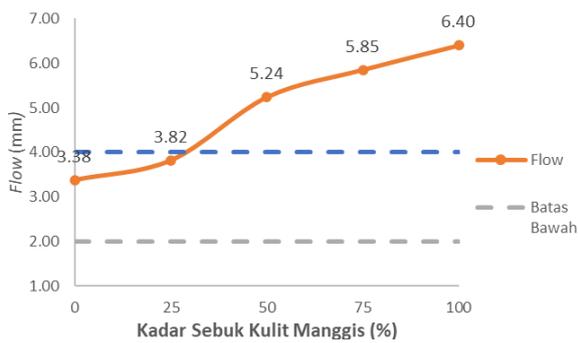
Gambar 4 Grafik hubungan VIM dan variasi penambahan serbuk kulit manggis



Gambar 5 Grafik hubungan VMA dan variasi penambahan serbuk kulit manggis



Gambar 6 Grafik Hubungan Stabilitas Dan Variasi Penambahan Serbuk Kulit Manggis



Gambar 7 Grafik hubungan flow dan variasi penambahan serbuk kulit manggis



Gambar 8 Grafik hubungan Marshall Quotient dan variasi penambahan serbuk kulit manggis

Hasil pengujian stabilitas menunjukkan fluktuasi namun cenderung meningkat. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 menunjukkan hasil nilai stabilitas yang masuk dalam spesifikasi adalah minimum 800 kg. Dari penelitian yang telah dilakukan semua benda uji masuk dalam spesifikasi. Hal ini dikarenakan serbuk kulit manggis mengandung kadar lignin. Pascoal et al., (2023) menyatakan pemanfaatan lignin sebagai bahan modifikasi pada campuran aspal berhasil meningkatkan ketahanan aspal.

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 menunjukkan nilai flow yang masuk dalam spesifikasi adalah 2 mm - 4 mm (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Dari penelitian yang telah dilakukan hanya terdapat 2 benda uji yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar 0% dan 25% dengan nilai berturut turut 3,38 mm dan 3,82 mm. Hal ini dikarenakan serbuk kulit manggis memiliki berat jenis rendah dan juga penyerapan air tinggi sehingga kerapatan campuran menurun dan rongga dalam campuran meningkat. Dapat disimpulkan semakin tinggi

kadar serbuk kulit manggis yang digunakan semakin berpengaruh buruk untuk campuran dan akan menyebabkan rentan terhadap perubahan bentuk atau deformasi.

Didapatkan hasil *Marshall Quotient* pada campuran beton aspal, menunjukkan fluktuasi namun cenderung menurun. Hal ini dikarenakan hasil yang didapatkan pada nilai stabilitas dan *flow* juga semakin meningkat sehingga faktor pembagiannya semakin besar hal itu yang menyebabkan nilai *Marshall Quotient* cenderung menurun seiring dengan kadar serbuk kulit manggis yang digunakan. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 menunjukkan nilai *Marshall Quotient* yang masuk dalam spesifikasi adalah minimum 250 kg/mm (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Dari penelitian yang telah dilakukan hanya terdapat 2 benda uji yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar 0% dan 25%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan variasi kadar serbuk kulit manggis yang memenuhi seluruh parameter Marshall ditunjukkan pada kadar 0% dan 25%. Kadar serbuk kulit manggis 0% dipilih sebagai kadar serbuk kulit manggis optimum karena memiliki parameter *Marshall* seperti nilai kepadatan, VFA, VIM, VMA, flow dan *Marshall Quotient* lebih baik. Sedangkan kadar serbuk kulit manggis 25% hanya memiliki nilai lebih baik pada parameter stabilitas. Dengan demikian dapat disimpulkan penggunaan serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton aspal telah menunjukkan hasil yang memenuhi spesifikasi pada kadar 25%, namun perlu diakui bahwa kinerjanya masih belum optimal, jika dibandingkan dengan campuran aspal konvensional yang tidak mengandung serbuk kulit manggis.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Nilai Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas diperoleh melalui korelasi dengan nilai stabilitas *Marshall*. Nilai stabilitas *Marshall* sendiri diambil dari hasil pengujian laboratorium. Persamaan ini kemudian digunakan untuk mengkonversi nilai stabilitas *Marshall* dari data laboratorium menjadi nilai modulus elastisitas. Pada pengujian *Marshall* serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan hasil optimum pada kadar 0%, yang selanjutnya didapatkan nilai modulus elastisitas terbaik pada kadar 0% benda uji 2 sebesar 546.701,73 psi, untuk selanjutnya akan dianalisis dengan program *KENPAVE*. Data hasil analisis perhitungan modulus elastisitas dilihat dalam Tabel 16.

Tabel 16 Data hasil analisis perhitungan modulus elastisitas

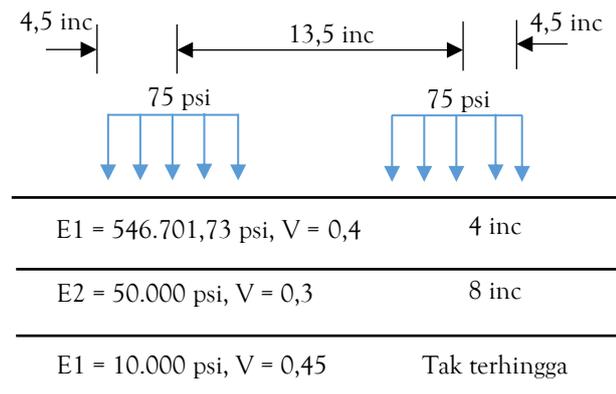
Ben da Uji	Kadar Serbuk Kulit manggis	Stabilita s (kg)	Stabilita s (lb)	Modul us Elastisi tas ($\times 10^5$ psi)	Modulus Elastisitas (psi)
1	0	1182,97	2608,00	5,43	543070,99
2	0	1191,21	2626,15	5,47	546701,73
3	0	1041,98	2297,17	4,81	480905,28
1	25	1093,39	2410,51	5,04	503571,98
2	25	1314,51	2897,99	6,01	601068,72
3	25	1353,72	2984,44	6,18	618358,17

1	50	1135,70	2503,80	5,22	522229,21
2	50	1302,20	2870,86	5,96	595642,30
3	50	1238,87	2731,23	5,68	567716,81
1	75	1182,50	2606,97	5,42	542864,76
2	75	1510,26	3329,55	6,87	687380,40
3	75	1720,87	3793,88	7,80	780245,58
1	100	1661,77	3663,57	7,54	754184,02
2	100	1575,42	3473,20	7,16	716110,81
3	100	1200,15	2645,88	5,51	550646,39

4.2 Hasil Analisis Program KENPAVE

Analisis menggunakan program KENPAVE bertujuan untuk menentukan nilai *horizontal tensile strength*, *vertical compressive strain*, dan umur rencana dari suatu perkerasan jalan. Benda uji yang dianalisis menggunakan KENPAVE adalah benda uji dengan nilai modulus elastisitas tertinggi, yaitu benda uji 2 dengan kadar 0% campuran serbuk kulit manggis dengan nilai 546.701,73 psi. Nilai modulus elastisitas ini digabungkan dengan data sekunder dari penelitian terdahulu mengenai lapisan tanah dasar dan lapis pondasi untuk melakukan analisis menggunakan KENPAVE. Nilai modulus elastisitas ini digabungkan dengan data sekunder dari penelitian terdahulu mengenai lapisan tanah dasar dan lapis pondasi (ketebalan lapisan dan Poisson's Ratio) untuk melakukan analisis menggunakan KENPAVE (Dinata et al., 2017; Rahmawati et al., 2018; Rahmawati et al., 2021).

Setelah memasukkan data-data yang dibutuhkan ke dalam program KENPAVE, diperoleh hasil analisis sebagai berikut, didapatkan nilai *horizontal tensile strength* atau tegangan sebesar 0,02, *vertical compressive strain* atau regangan sebesar 0,08, dan umur rencana jalan selama 12,7 tahun. Dengan kata lain, perkerasan jalan diperkirakan akan mengalami kerusakan setelah 12,7 tahun apabila tidak ada tindakan pemeliharaan yang dilakukan.



Gambar 9 Struktur lapis perkerasan jalan (Dinata et al., 2017; Rahmawati et al., 2018; Rahmawati et al., 2021)

Tabel 17 Perbandingan ESAL hasil perhitungan dan desain ESAL

Kriteria Kegagalan Model Asphalt Institute	Desain Esal 100 x 365 x 20 Tahun	Kesimpulan
Nf 1.737.774,32	730.000 ESAL	Desain struktur perkerasan mampu mencegah kelelahan retak

Kriteria Kegagalan Model Asphalt Institute	Desain Esal 100 x 365 x 20 Tahun	Kesimpulan
Nd 463.356,3855	730.000 ESAL	Desain struktur perkerasan tidak dapat mencegah rutting selama desain ESAL atau periode desain 20 tahun

Tabel 18 Hasil perhitungan umur rencana

Rasio Kerusakan	Jumlah Batas Maksimum	Umur Selama (Tahun)	Desain
0,02102	0,0212	12,7	
0,07875			

5 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian fisis yang telah dilakukan pada serbuk kulit manggis didapatkan hasil berat jenis curah kering sebesar 0,6884, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 1,0721, berat jenis semu sebesar 1,1170 dan kadar penyerapan air sebesar 55,73%. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa serbuk kulit manggis tidak memenuhi spesifikasi dari berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

Pengaruh penggunaan serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% pada karakteristik Marshall sebagai berikut:

- Nilai kepadatan menunjukkan penurunan setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis. Dengan nilai tertinggi didapatkan pada kadar 0% dan 25% dengan nilai yang sama yaitu 2,28.
- Nilai VFA (*Void Filled Asphalt*) menunjukkan penurunan setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis dan hanya pada kadar 0% dan 25% yang memenuhi spesifikasi. Dengan nilai tertinggi didapatkan pada kadar 0% dengan nilai 75,48%.
- Nilai VIM (*Void in Mix*) menunjukkan peningkatan setiap penambahan serbuk kulit manggis dan hanya pada kadar 0% dan 25% yang memenuhi spesifikasi, dengan nilai 4,58% dan 4,98%.
- Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) menunjukkan peningkatan setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis dan semua kadar telah memenuhi spesifikasi, dengan hasil tertinggi pada kadar 100% dengan nilai 23,50%.
- Nilai Stabilitas menunjukkan peningkatan setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis dan semua kadar telah memenuhi spesifikasi, dengan hasil tertinggi pada kadar 100% dengan nilai 1479,11 kg.
- Nilai *flow* menunjukkan peningkatan setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis dan hanya pada kadar 0% dan 25% yang memenuhi spesifikasi, dengan nilai 3,38 mm dan 3,82 mm.
- Nilai *Marshall Quotient* menunjukkan fluktuasi namun cenderung menurun setiap penambahan kadar serbuk kulit manggis dan hanya pada kadar 0%, 25% dan

75% yang memenuhi spesifikasi, dengan nilai 337,26 kg/mm, 328,75 kg/mm dan 253,03 kg/mm.

Hasil analisis nilai modulus elastisitas yang telah dilakukan menggunakan korelasi dengan nilai stabilitas Marshall didapatkan hasil tertinggi pada kadar 0% benda uji 2 sebesar 546.701,73 psi. Hasil tersebut yang nantinya akan digunakan pada analisis menggunakan program KENPAVE.

Hasil analisis program KENPAVE yang dilakukan menggunakan data sekunder yang didapatkan dari penelitian terdahulu dan dipadukan dengan nilai modulus elastisitas tertinggi dari pengujian pada campuran perkerasan jalan AC-WC dengan serbuk kulit manggis sebagai pengganti agregat halus yang telah dilakukan. Didapatkan hasil nilai *horizontal tensile strength* (tegangan) sebesar 0,02102 dan *nilai vertical compmpressive strain* (regangan) sebesar 0,07875 dengan umur rencana jalan selama 12,7 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro, I. A. S. A., 2016, Mini-Mobile Asphalt Mixer (Alat Pencampur Pasir dan Aspal Panas Skala Kecil yang Dapat Dipindah-Pindahkan). *RISTEK : Jurnal Riset, Inovasi Dan Teknologi Kabupaten Batang*, 1(1), 105-108.
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., Setiawan, D. M., 2017, Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus: Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050), *Jurnal Semesta Teknika*, 20(1), 8-19. DOI: <https://doi.org/10.18196/st.v20i1.2723>
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018, *Spesifikasi Umum 2018 Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2*, 6.1-6.104.
- Kementerian Pertanian, 2020, *Statistik Hortikultura*.
- Mukti, N. I., Prasetyo, I., Mindaryani, A., 2015, Preparation of Carbon Supported Cobalt Oxide From Waste of Mangosteen Peels as Ethylene Scavenger for Fruit Preservation. *Reaktor*, 15.
- Mulyawan, A., Saleh, S. M., Anggraini, R., 2019, Simulasi Biaya Penanganan Jalan antara Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur. *Teras Jurnal*, 9(2).
- Nugroho, Y. A., 2015, Aplikasi Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana* L.) sebagai Sumber Antioksidan pada Es Krim. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(4).
- Pascoal, A., Almeida, A., Capitão, S., Picado-Santos, L., 2023, Improvement of Warm-Mix Asphalt Concrete Performance with Lignin Obtained from Bioethanol Production from Forest Biomass Waste. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(23).
- Rahmawati, A., Setiawan, D. M., Pangestu, M. A. Y., Aulia, R. A., 2018, Evaluasi Tebal dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analisa Komponen, *Austrroads, Asphaltinstitute Dan Program KENPAVE, Media Teknik Sipil*, 16(2), 79-85.
- Rahmawati, A., Aldiansyah, F., Setiawan, D. M., 2021, Desain Tebal Perkerasan Lentur Jalan Menggunakan Program Kenpave di Ruas Jalan Maospati-Sukomoro, Kabupaten Magetan, Jawa Timur, *Bulletin of Civil Engineering*, 1(1), 29-32.
- Setiawan, D. M., Gufron, A., & Widodo, W., 2024, Analisis Tegangan-Regangan Struktur Beton Aspal dengan Limbah Ampas Kopi Sebagai Agregat Halus. *Bulletin Of Civil Engineering*.
- SNI 06-2440-1991 Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal.
- SNI 2417: 2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2432:2011 Cara Uji Daktilitas Aspal.
- SNI 2432:2011 Cara Uji Penetrasi Aspal.
- SNI 2439:2011 Cara Uji Penyelimutan dan pengelupasan pada Campuran Agregat-Aspal.
- SNI 2439:2011 Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and ball).
- SNI 2441:2011 Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, (2011).
- SNI 1969: 2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- SNI 1970:2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:217683228>

