

# Analisis Tegangan–Regangan Struktur Beton Aspal dengan Limbah Ampas Kopi Sebagai Agregat Halus

Dian M. Setiawan<sup>a\*</sup>, Alif Gufron<sup>a</sup>, Wahyu Widodo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

DOI : <https://doi.org/10.18196/bce.v4i2.26116>

## Article History

Received  
17 Juni 2025

Revised  
23 Juli 2025

Accepted  
28 Agustus 2025

\*Correspondence Author  
diansetiawanm@ft.umy.ac.id

## Abstrak

Seiring meningkatnya pembangunan jalan di Indonesia, penggunaan aspal beton sebagai bahan utama sering kali digunakan. Salah satu komponen aspal beton yaitu agregat halus pada umumnya menggunakan pasir yang berasal dari alam. Penggunaan yang cukup besar walaupun memiliki dampak yang tidak signifikan, tetapi dapat menyebabkan penipisan terhadap sumber daya alam dan dapat terjadi erosi sehingga diperlukan alternatif. Pada penelitian ini alternatif yang digunakan yaitu ampas kopi sebagai pengganti agregat halus dengan ukuran butir lolos saringan No. 50 dan tertahan saringan No. 100. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa parameter Marshall dan nilai modulus elastisitasnya, serta mengetahui regangan dan tegangan pada lapisan AC-WC menggunakan program KENPAVE. Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%, sementara untuk jumlah sampel yang dipakai sebanyak 10 sampel dengan tiap kadar aspal memiliki 2 sampel. kadar ampas kopi masing-masing yaitu 0%, 20%, 40%, 60% dan 80% yang menggunakan 3 sampel setiap variasi kadar ampas kopi. Hasil pengujian Marshall yang didapatkan menunjukkan hasil yang baik (VFA, VIM, Flow, dan MQ) pada kadar 0% ampas kopi dan hal yang sama untuk modulus elastisitas yang memiliki nilai terbesar pada kadar 0%. Hasil yang didapatkan pada program KENPAVE didapatkan umur rencana 12,82 tahun yang datanya diambil dari pengujian Marshall dan nilai modulus elastisitas.

Kata-kata kunci: Marshall, Ampas Kopi, Modulus Elastisitas, KENPAVE.

## Abstract

As road construction in Indonesia increases, the use of asphalt concrete as the main material is often used. One of the components of asphalt concrete, namely fine aggregate, generally uses sand that comes from nature. The use is quite large although it has an insignificant impact, but it can cause depletion of natural resources and erosion can occur so that alternatives are needed. In this study, the alternative used is coffee grounds as a substitute for fine aggregate with grain size passing sieve No. 50 and retained sieve No. 100. This research was conducted to analyze Marshall parameters and elastic modulus values, as well as to determine the strain and stress in the AC-WC layer using the KENPAVE program. The variations of asphalt content used are 4.5%; 5%; 5.5%; 6% and 6.5%, while the number of samples used is 10 samples with each asphalt content having 2 samples. coffee grounds levels are 0%, 20%, 40%, 60% and 80% respectively which use 3 samples of each variation of coffee grounds levels. The Marshall test results obtained show good results (VFA, VIM, Flow, and MQ) at 0% coffee grounds content and the same for the elastic modulus which has the good result at 0% content. The results obtained in the KENPAVE program obtained a plan life of 12,82 years whose data were taken from Marshall testing and elastic modulus values.

Keywords: Marshall Test, Coffee Grounds, Modulus of Elasticity, KENPAVE

© 2024 . Bulletin of Civil Engineering UMY

## 1 PENDAHULUAN

Pembangunan jalan saat ini meningkat pesat dan merupakan fokus utama di Indonesia, yang memiliki banyak pulau serta topografi yang beragam. Jalan digunakan sebagai akses yang akan menghubungkan antar daerah, dengan dibangunnya jalan akan mempermudah akses dan mempersingkat waktu tempuh perjalanan. Pembangunan jalan yang berkualitas dan tahan lama

diperlukan adanya pengawasan baik dari material maupun pengerjaan jalan, material yang biasanya digunakan untuk pembangunan jalan menggunakan aspal beton.

Menurut Triyatno et al., (2020), peningkatan penggunaan aspal beton sebagai material jalan dipengaruhi oleh berbagai keunggulan dibandingkan dengan bahan konstruksi lainnya. Salah satu kelebihan adalah harganya yang lebih ekonomis jika dibandingkan

dengan beton. Selain itu, aspal beton memiliki kemampuan yang baik dalam menanggung beban berat kendaraan dan ketahanan yang ideal terhadap kondisi cuaca (Rahmawati et al., 2018). Aspal beton merupakan campuran dari agregat yang terdiri dari berbagai ukuran dengan bitumen sebagai bahan pengikatnya (Dinata et al., 2017). Keunggulan utama aspal beton terletak pada kondisi butir agregat yang saling mengunci (Rahmawati et al., 2021). Komposisinya melibatkan aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Salah satu komponen aspal yaitu agregat halus merupakan pasir alam yang memiliki ukuran butir yang lolos saringan No. 4 atau 4,75 mm. Pengambilan pasir alam yang digunakan sebagai agregat halus dapat merusak lingkungan walaupun dampaknya tidak signifikan tetapi akan mengakibatkan erosi, maka perlu adanya alternatif lain yang lebih baik (Syaifulloh, 2021; Hulukati dan Isa, 2020). Salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan untuk agregat halus adalah ampas kopi yang mudah ditemukan. Indonesia merupakan penghasil kopi terbesar No. 3 dunia, pada tahun 2023 data yang ditunjukkan Badan Pusat Statistik Indonesia produksi kopi mencapai 774,96 ton. Provinsi Sumatera Selatan sebagai penghasil kopi terbesar yang memiliki luas lahan sebesar 267.000 hektar atau 21,11% dari luas total lahan kopi di Indonesia. Perkiraan total produksi kopidi Indonesiaditas 600 ributon per tahun 2016. Data tersebut menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi yang terbesar di dunia (Ilham et al., 2023; Cucu dan Fajriany, 2019). Ampas kopi menjadi limbah yang kurang dimanfaatkan dan terbuang sia-sia dalam jumlah besar, maka salah satu alternatif sebagai pemanfaatan limbah ampas kopi dilakukan penelitian tentang ampas kopi yang digunakan sebagai agregat halus pada campuran laston.

Caetano et al., (2012) menyatakan bahwa ampas kopi memiliki kandungan berupa kandungan *selulosa* sebesar 8% dan kandungan *lignin* sebesar 33,6%. Dengan adanya kandungan tersebut diharapkan dapat meningkatkan stabilitas pada aspal beton dan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi dan retak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas ampas kopi sebagai bahan agregat halus untuk AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan ampas kopi sebagai agregat halus dalam campuran aspal beton AC-WC. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis parameter *Marshall* pada campuran aspal dengan substitusi ampas kopi, menghitung nilai modulus elastisitas campuran aspal dengan berbagai variasi kadar ampas kopi, mengevaluasi tegangan dan regangan yang terjadi pada lapisan AC-WC menggunakan program KENPAVE, dan memperkirakan umur rencana perkerasan berdasarkan hasil analisis modulus elastisitas dan parameter *Marshall*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai pemanfaatan limbah ampas kopi sebagai alternatif agregat halus yang berkelanjutan dalam campuran aspal beton, serta dampaknya terhadap karakteristik mekanis dan umur layan perkerasan jalan.

## 2 METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Umum

Penelitian ini melibatkan proses pembuatan dan pengujian benda uji di laboratorium untuk mengumpulkan data yang akan diolah. Data yang digunakan terdiri dari data primer, yang diperoleh langsung dari pengujian di laboratorium seperti data pengujian aspal, agregat, dan benda uji, serta data sekunder yang diperoleh dari sumber lain seperti publikasi ilmiah dan laporan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian ini, data yang diperoleh dari pengujian terdiri dari data pemeriksaan material dan data pengujian pada benda uji. Data pemeriksaan material mencakup data dari pemeriksaan aspal dan agregat, sementara data pengujian pada benda uji mencakup data dari pengujian *Marshall* yang menghasilkan parameter *Marshall* seperti *Density*, *Stabilitas*, *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, dan nilai *Marshall Quotient*.

### 2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Transporatasi dan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Rentang waktu yang digunakan dalam penelitian ini ialah dimulai dari bulan Mei 2024 sampai dengan Juni 2024.

### 2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan penelitian yang digunakan untuk memperoleh nilai parameter *Marshall*, nilai modulus elastisitas dan tegangan-regangan aspal beton menggunakan program KENPAVE. Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan alat dan bahan yang akan digunakan selama proses pengujian laboratorium. Setelah semua alat dan bahan tersedia, dilakukan pengujian awal terhadap bahan-bahan utama, yaitu aspal, agregat kasar, agregat halus, dan ampas kopi sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat dasar masing-masing material sebelum digunakan dalam campuran aspal.

Pengujian terhadap aspal meliputi beberapa parameter penting seperti penetrasi, titik lembek, berat jenis, daya lekat aspal, serta kehilangan berat minyak dan aspal. Selanjutnya, agregat kasar diuji untuk mengetahui berat jenis dan daya serap, keausan, serta tingkat kelekatan agregat. Agregat halus dan ampas kopi juga diuji untuk menentukan berat jenis dan penyerapan masing-masing material. Hasil pengujian bahan-bahan ini kemudian dievaluasi untuk memastikan bahwa semuanya memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan. Jika ditemukan material yang tidak sesuai spesifikasi, maka dilakukan penyesuaian atau penggantian bahan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

Setelah seluruh bahan dinyatakan sesuai spesifikasi, langkah berikutnya adalah pembuatan benda uji dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Benda uji tersebut kemudian diuji menggunakan metode *Marshall* untuk memperoleh karakteristik teknis campuran, seperti stabilitas, flow, dan parameter volumetrik (*VIM*, *VMA*, dan *VFB*). Data hasil uji *Marshall* kemudian dianalisis secara komprehensif untuk

menentukan pengaruh kadar aspal terhadap performa campuran.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil pengujian sebelumnya. Nilai modulus ini sangat penting sebagai input dalam pemodelan struktur perkerasan. Untuk keperluan analisis struktur perkerasan jalan, digunakan perangkat lunak KENPAVE yang dapat mensimulasikan respons mekanik lapisan perkerasan terhadap beban lalu lintas. Dengan bantuan program ini, diperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap perilaku mekanis dari campuran yang diuji.

Akhir dari proses penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan seluruh hasil analisis, baik dari pengujian laboratorium maupun simulasi numerik. Kesimpulan ini memberikan gambaran tentang kelayakan penggunaan bahan pengganti agregat halus (ampas kopi) dalam campuran aspal serta kadar aspal optimum yang memberikan performa terbaik.

## 2.4 Perencanaan Campuran

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan variasi aspal dengan kadar 4,5%; 5%; 5,5 %; 6% dan 6,5%. Agregat halus yang digunakan dengan variasi kadar 0%, 20%, 40%, 60% dan 80% terhadap berat total agregat halus. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini memiliki jumlah sebanyak 15 sampel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Jumlah sampel campuran ampas kopi

Kadar Ampas Kopi	Jumlah Sampel	Ampas Kopi (gram)/Benda Uji
0%	3	0
20%	3	12
40%	3	24
60%	3	36
80%	3	48

Tabel 2 Jumlah sampel untuk KAO

Kadar Aspal	Jumlah Sampel	Berat (gram) Aspal
4%	2	56,50
4,5%	2	63,16
5%	2	69,84
5,5%	2	76,60
6%	2	83,42

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Aspal

Berikut ini hasil pengujian terhadap aspal yang diperoleh sudah memenuhi spesifikasi yang ada, seperti yang dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian aspal

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Standar Acuan
Penetrasi (mm)	60-70	65,70	SNI 2456:2011
Titik Lembek (°C)	> 48	50,50	SNI 2434:2011
Berat Jenis (%)	> 1	1,05	SNI 2441:2011
Kehilangan Berat Minyak (%)	Maks. 0,4	0,24	SNI 2432:2011
Daktilitas (cm)	100-200	131	SNI 2440:1991

### 3.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Berikut ini hasil pengujian agregat kasar yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi sesuai standar yang ada, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Standar Acuan
Berat Jenis Curah Kering	$\geq 2,5$	2,60	SNI 1969:2016
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	$\geq 2,5$	2,66	SNI 1969:2016
Berat Jenis Semu	$\geq 2,5$	2,77	SNI 1969:2016
Penyerapan Air (%)	$\leq 3$	2,34	SNI 1969:2016
Keausan Agregat (%)	$\leq 40\%$	20,26	SNI 2417:2008
Kelekatatan Agregat (%)	$\geq 95\%$	96,50	SNI 2439:2011

### 3.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan hasil yang sudah memenuhi spesifikasi yang ada, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Standar Acuan
Berat Jenis Curah	$\geq 2,5$	2,50	SNI 1970:2016
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	$\geq 2,5$	2,56	SNI 1970:2016
Berat Jenis Semu	$\geq 2,5$	2,66	SNI 1970:2016
Penyerapan Air (%)	$\leq 3$	2,35	SNI 1970:2016

### 3.4 Hasil Pengujian Ampas Kopi

Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh hasil yang belum memenuhi dikarenakan ampas kopi memiliki penyerapan yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian Ampas Kopi

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Standar Acuan
Berat Jenis Curah	$\geq 2,5$	0,72	SNI 1970:2016
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	$\geq 2,5$	1,08	SNI 1970:2016
Berat Jenis Semu	$\geq 2,5$	1,12	SNI 1970:2016
Penyerapan Air (%)	$\leq 3$	50,10	SNI 1970:2016

### 3.5 Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO

Pengujian Marshall memiliki beberapa parameter yang berguna untuk mencari nilai kadar aspal optimum. Pada penelitian ini menggunakan aspal dengan kadar 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%. Berdasarkan pengujian Marshall yang telah dilakukan diperoleh hasil yang memenuhi semua parameter yaitu pada kadar aspal 6,5%. Maka untuk campuran ampas kopi kadar aspal yang digunakan yaitu dengan kadar tetap 6,5%. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.



yang diperoleh sudah memenuhi spesifikasi, seperti yang terlihat pada Tabel 16.

Tabel 10 Hasil pengujian density

Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	2,28	2,31	2,26	2,18	2,19
2	2,28	2,21	2,28	2,21	2,18
3	2,29	2,25	2,24	2,20	2,17
Rata-rata	2,28	2,26	2,26	2,20	2,18

Tabel 11 Hasil pengujian VFA

Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	74,62	80,38	71,70	60,01	60,66
2	75,07	64,13	74,18	63,50	60,22
3	76,41	70,07	68,90	62,91	59,10
Rata-rata	75,37	71,53	71,59	62,14	59,99

Tabel 12 Hasil pengujian VIM

Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	4,79	3,48	5,51	8,97	8,75
2	4,68	7,64	4,89	7,83	8,90
3	4,36	5,94	6,26	8,02	9,28
Rata-rata	4,61	5,69	5,55	8,27	8,98

Tabel 13 Hasil pengujian VMA

Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	18,86	17,75	19,48	22,43	22,24
2	18,77	21,29	18,96	21,46	22,37
3	18,50	19,85	20,12	21,62	22,70
Rata-rata	18,71	19,63	19,52	21,84	22,43

Tabel 14 Hasil pengujian stabilitas

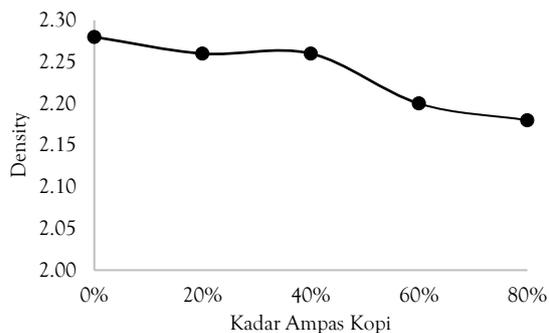
Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	1183,57	1537,76	1075	1157,04	1098,96
2	1203,80	673,45	1436,99	1006,13	1316,62
3	1051,26	1190,66	1099,94	1375,97	1146,93
Rata-rata	1146,21	1133,96	1203,97	1179,71	1187,50

Tabel 15 Hasil pengujian flow

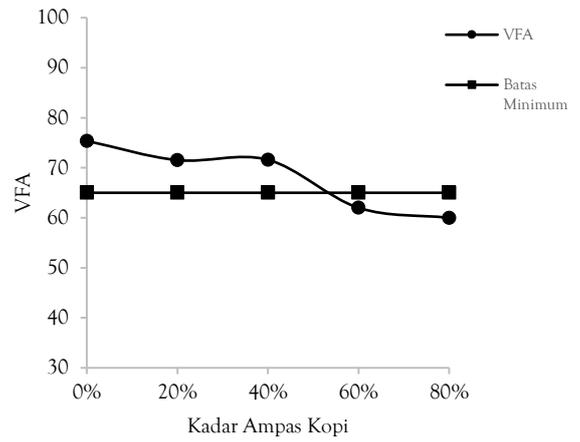
Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	3,98	3,89	3,21	5,41	3,94
2	3,27	3,91	4,61	3,27	4,84
3	3,24	3,85	3,67	3,74	4,9
Rata-rata	3,50	3,88	3,83	4,14	4,56

Tabel 16 Hasil pengujian MQ

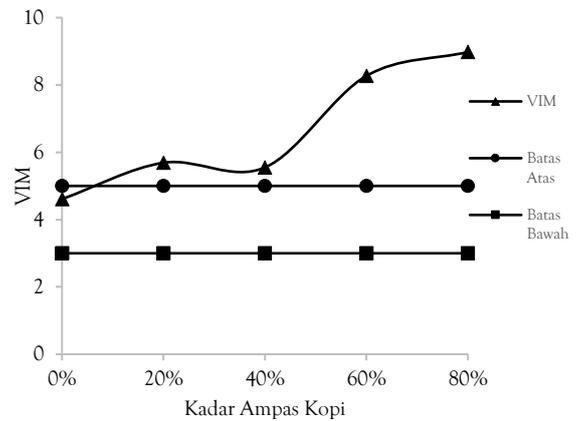
Benda Uji	0%	20%	40%	60%	80%
1	297,38	395,31	334,89	213,87	278,92
2	368,14	172,24	311,71	307,68	272,03
3	324,46	309,26	299,71	367,91	234,07
Rata-rata	329,99	292,27	315,44	296,49	261,67



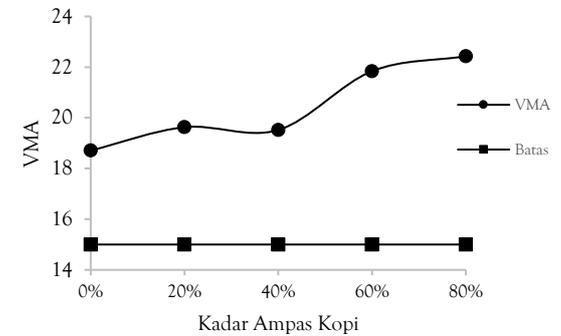
Gambar 1 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan density



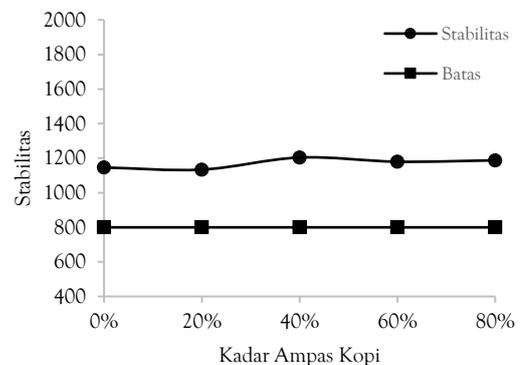
Gambar 2 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan VFA



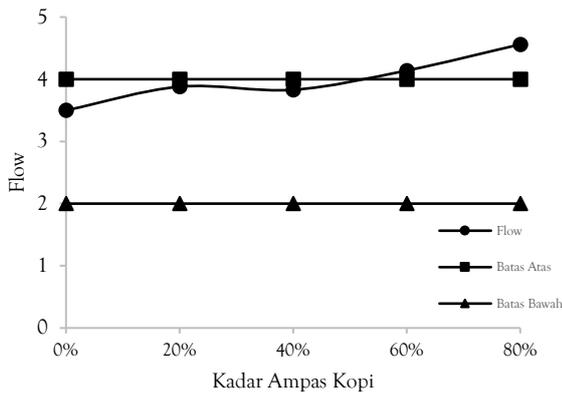
Gambar 3 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan VIM



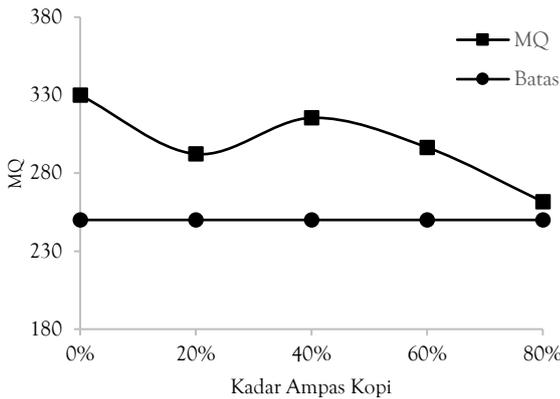
Gambar 4 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan VMA



Gambar 5 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan stabilitas



Gambar 6 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan flow



Gambar 7 Grafik hubungan kadar ampas kopi dan MQ

### 3.7 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas pada aspal beton dapat diperoleh menggunakan data dari parameter Marshall yaitu nilai stabilitas. Nilai Stabilitas yang didapatkan bisa dikorelasikan dengan modulus elastisitas melalui grafik. Berikut ini hasil nilai modulus elastisitas berdasarkan hubungan stabilitas dan modulus. Hasil analisa modulus elastisitas yang didapatkan pada kadar 0% benda uji 2 sebesar 552.255,54 Psi seperti pada Tabel 17.

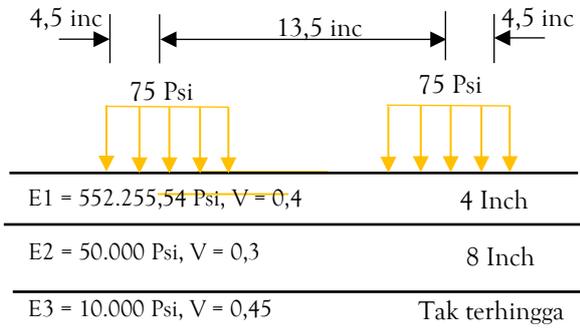
Tabel 17 Hasil analisis modulus elastisitas

Kadar Ampas Kopi (%)	Stabilitas (kg)	Stabilitas (lb)	Modulus Elastisitas (x105 psi)	Modulus Elastisitas (psi)
0	1183,5739	2609,3308	5,30	543336,16
0	1203,8028	2653,9277	5,52	552255,54
0	1051,2588	2317,6261	4,85	484995,21
20	1537,7574	3390,1707	7,00	699504,13
20	673,4544	1484,7110	3,18	318412,21
20	1190,6595	2624,9518	5,46	546460,35
40	1074,9967	2369,9593	4,95	495461,85
40	1436,9906	3168,0183	6,55	655073,65
40	1099,9365	2424,9420	5,06	506458,40
60	1157,0436	2550,8414	5,32	531638,28
60	1006,1266	2218,1268	4,65	465095,36
60	1375,9679	3033,4864	6,28	628167,29
80	1098,9557	2422,7797	5,06	506025,94
80	1316,6180	2902,6423	6,02	601998,45
80	1146,9314	2528,5479	5,27	527179,58

### 3.8 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

Program KENPAVE pada dasarnya bisa digunakan untuk perkerasan lentur dan kaku. Pada penelitian ini program KENPAVE digunakan untuk perkerasan lentur yang mana bisa memperoleh nilai *horizontal tensile strength*, *vertical compressive strain* serta dapat memprediksi umur

rencana pada jalan. Pada penelitian ini diperoleh nilai modulus elastisitas untuk lapisan AC-WC dari analisa hasil pengujian Marshall yang nantinya akan di input ke program KENPAVE. Berikut ini data yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Data lapisan perkerasan lentur

Berdasarkan hasil program KENPAVE didapatkan hasil nilai Nf (*Number of Repetitions to Fatigue Failure*) sebesar 1,743E+06 ESAL dan untuk nilai Nd (*Number of Repetitions to Rutting Failure*) sebesar 4,678E+05 ESAL. Diperoleh nilai *Damage Ratio Tensile Strength* sebesar 0,02094 sedangkan untuk *Damage Ratio Compressive Strain* sebesar 0,07802 dan untuk umur rencana perkerasan yang bisa digunakan selama 12,82 tahun. Berikut ini hasil analisa program KENPAVE dapat dilihat pada Tabel 18 dan 19.

Tabel 18 Hasil nilai Nf dan Nd

Kriteria Kegagalan	Desain ESAL	Penjelasan
Nf	1.737.774,32	730.000 ESAL Perkerasan jalan mampu menahan retak selama 20 tahun
Nd	463.356,3855	730.000 ESAL Perkerasan jalan tidak mampu menahan deformasi jalan selama 20 tahun

Tabel 19 Umur perkerasan jalan

Rasio Kerusakan	Jumlah Batas Maksimum	Kerusakan	Umur Selama (Tahun)	Desain
0,02094				
0,07802		0,07802		12,82

## 4 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan parameter Marshall pada AC-WC, dengan ampas kopi sebagai substitusi agregat halus dengan ukuran butir lolos saringan No.50 dan tertahan saringan No. 100 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kepadatan benda uji mengalami penurunan setiap penambahan ampas kopi, dengan nilai tertinggi sebesar 2,28 gr/cc pada kadar 0%.
- Void Filled Asphalt* yang diperoleh dari hasil pengujian Marshall setiap penambahan kadar ampas kopi nilai dari VFA mengalami penurunan. Nilai terbesar yang didapatkan pada kadar 0% sebesar 75,37 %, dan hasil tersebut sudah memenuhi spesifikasi VFA, sedangkan untuk yang tidak memenuhi pada kadar 60% dan 80%
- Nilai *Void in Mix* yang didapatkan dari pengujian Marshall pada setiap variasi kadar mengalami

- kenaikan, dengan nilai tertinggi pada kadar 80% sebesar 8,98% tapi hasil tersebut belum memenuhi spesifikasi yang ada. Sedangkan untuk nilai yang memenuhi pada kadar 0%.
- d. *Void in Mineral Aggregate* yang diperoleh dari pengujian *Marshall* cenderung mengalami peningkatan setiap penambahan kadar ampas kopi. Nilai terbesar yang didapatkan sebesar 22,43% pada kadar 80% dan nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi.
  - e. Nilai Stabilitas yang didapatkan dari pengujian *Marshall* mengalami kenaikan setiap variasi kadar walaupun tidak signifikan dan mengalami penurunan pada kadar tertentu. Nilai tertinggi pada kadar 40% sebesar 1203,97 kg, hal ini menjelaskan bahwa dengan pertambahan ampas kopi maka nilai Stabilitas semakin baik.
  - f. *Flow* yang diperoleh dari pengujian *Marshall* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar ampas kopi. Hasil yang terbesar didapatkan pada kadar 80 % dengan nilai sebesar 4,56 mm tetapi nilai tersebut belum memenuhi spesifikasi yang ada. Hasil yang baik pada kadar 20% sebesar 3,88 mm
  - g. *Marshall Quotient* yang didapatkan dari pengujian *Marshall* mengalami penurunan pada kadar 20%, kemudian mengalami kenaikan pada kadar 40%, dan turun sampai pada kadar 80%. Nilai *Marshall quotient* tertinggi pada kadar 0% sebesar 329,99 kg/mm dan sudah memenuhi spesifikasi.
  - h. Hasil analisa modulus elastisitas menggunakan perbandingan regangan dan tegangan didapatkan nilai tertinggi pada kadar 0% benda uji 2 sebesar 552.255,54 psi.
  - i. Berdasarkan hasil program KENPAVE didapatkan hasil umur layanan jalan yang digunakan sebesar 12,83 tahun.
- Pasir Terhadap Kelestarian Lingkungan Di Kelurahan Tumbihe. *Jurnal of Community Empowerment*, 1(2), 112-121. DOI: <https://doi.org/10.37411/jjce.v1i2.464>
- Ilham, M. M., Anggraini, D, Yofinaldi, S. dan Wirayuda, R. (2023). Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi menjadi Pupuk Organik. *Jurnal Sains Teknologi dalam Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 9-14. DOI: <https://doi.org/10.31599/pvn1a241>
- 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.

## 5 DAFTAR PUSTAKA

- Caetano, N. S., Silvaa, V. F. M., & Mata, T. M. (2012). Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, 26(January), 267-272. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1226045>
- Cucu, L. S., dan Fajriany, D. T. (2019). Analisis Kepuasan Konsumen Untuk Meningkatkan Volume Penjualan Kedai Kopi Kala Senja. *Jurnal E-Bis (Ekonomi-Bisnis)*, 3(2), 111-118. DOI: <https://doi.org/10.37339/e-bis.v3i2.124>
- 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 Teknik*, 20(1), 8-19. DOI: <https://doi.org/10.18196/st.v20i1.2723>
- Hertina, T. N., Dwiyantri, S. (2013). Pemanfaatan Ampas Kedelai Putih dan Ampas Kopi dengan Perbandingan Berbeda dalam Pembuatan Lulur Tradisional untuk Perawatan Tubuh. *e-Journal*, 2(3), 70-77.
- Hulukati, M., Isa, A. H. (2020). Dampak Penambangan

This page is intentionally left blank