

# Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA)

\*Firmanda Yoga Pratama<sup>1</sup>, Muhamad Abdul Hadi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 55584

<sup>\*)</sup>[muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id](mailto:muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id)

## Abstract

*Improving transportation infrastructure demands innovation in road quality and service. One way to modify asphalt concrete for better strength is to replace the filler in the mixture with wood charcoal ash. Wood charcoal ash contains nonpolar carbon similar to asphalt, capable of binding mixtures and filling inter-aggregate cavities. The purpose of this study is to determine the effect of wood charcoal ash as a filler substitution on the characteristics of SMA mixture through Marshall, IRS, ITS, TSR, VCA, draindown, and cantabro loss tests. The research began with a physical test of aggregate and asphalt, followed by the determination of KAO using stability, flow, MQ, VITM, VMA, VCA, draindown, and IRS parameters. Wood charcoal ash filler substitution testing was carried out at levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% following the standards of Bina Marga Specification (2018) Revision 2. The results showed that the increase in the stability of the SMA mixture occurred up to the level of 25% wood charcoal ash filler, reaching 1028.53 kg, then decreasing at the level of 50% to 100% to the stability of 934.99 kg. The flow value increases at wood charcoal ash content of 25% to 100%. The IRS value increases by 50% but decreases at 75% and 100% with values remaining above the 90% standard. The ITS value continued to decrease to 100% with a yield of 454.14 kPa, and the draindown decreased to 0.03% at 100%. CL increased to 15.59% at 100% wood charcoal ash content, but still in accordance with the standard of < 20%. Mixtures with 25% wood charcoal ash filler have high stability but low flow, making it less plastic and prone to cracking. Meanwhile, the mixture with wood charcoal ash filler is 50% more crack resistant with high stability and increased flow.*

**Keywords:** Stone Matrix Asphalt, Filler Materials, Wood Charcoal Ash

## Abstrak

Peningkatan infrastruktur transportasi menuntut inovasi dalam kualitas dan layanan jalan. Salah satu cara memodifikasi beton aspal untuk kekuatan yang lebih baik adalah dengan mengganti bahan pengisi (*filler*) pada campuran dengan abu arang kayu. Abu arang kayu mengandung karbon nonpolar yang mirip dengan aspal, mampu mengikat campuran dan mengisi rongga antar-agregat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh abu arang kayu sebagai substitusi *filler* pada karakteristik campuran SMA melalui uji Marshall, IRS, ITS, TSR, VCA, draindown, dan cantabro loss. Penelitian dimulai dengan uji fisik agregat dan aspal, dilanjutkan dengan penentuan KAO menggunakan parameter stabilitas, *flow*, MQ, VITM, VMA, VCA, draindown, dan IRS. Pengujian substitusi *filler* abu arang kayu dilakukan pada kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengikuti standar Spesifikasi Bina Marga (2018) Revisi 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas campuran SMA terjadi hingga kadar 25% *filler* abu arang kayu, mencapai 1028,53 kg, kemudian turun pada kadar 50% hingga 100% ke stabilitas 934,99 kg. Nilai *flow* meningkat pada kadar abu arang kayu 25% hingga 100%. Nilai IRS meningkat hingga 50% namun menurun pada 75% dan 100% dengan nilai tetap di atas standar 90%. Nilai ITS terus menurun hingga 100% dengan hasil 454,14 kPa, dan draindown menurun hingga 0,03% pada kadar 100%. CL meningkat hingga 15,59% pada kadar abu arang kayu 100%, namun masih sesuai standar < 20%. Campuran dengan *filler* abu arang kayu 25% memiliki stabilitas tinggi namun *flow* rendah, menjadikannya kurang plastis dan mudah retak. Sementara itu, campuran dengan *filler* abu arang kayu 50% lebih tahan retak dengan stabilitas tinggi dan *flow* yang meningkat.

**Kata Kunci:** Stone Matrix Asphalt, Bahan Pengisi (*Filler*), Abu Arang Kayu

## PENDAHULUAN

Jalan memiliki peranan yang sangat vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat, terutama dalam memenuhi berbagai kebutuhan, baik dalam hal distribusi barang maupun layanan. Ini merupakan infrastruktur vital dalam mendukung aktivitas transportasi dan konektivitas antara berbagai lokasi. Jalan memiliki peran utama dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk sosial, ekonomi, budaya, dan keamanan. Namun, seiring berjalannya waktu, kualitas jalan mengalami penurunan karena meningkatnya beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

Beberapa tahun terakhir, pemerintah telah mempercepat pembangunan infrastruktur jalan dan meningkatkan pemeliharaan jalan. Hal ini menyebabkan peningkatan permintaan akan material konstruksi, termasuk *filler* atau bahan pengisi dalam campuran aspal. *Filler*, yang

juga dikenal sebagai bahan pengisi, dapat diperoleh melalui proses pemecahan baik batuan buatan maupun batuan alami.

Untuk mengatasi kebutuhan *filler* yang semakin meningkat, alternatif selain abu batu sedang dicari, karena jumlahnya tidak mencukupi permintaan, terutama dengan keterbatasan produksi dari *quarry*. Salah satu alternatif yang dipilih oleh penulis adalah abu arang kayu, karena penggunaannya masih terbatas dan ketersediaannya cukup melimpah.

Abu arang kayu diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai bahan pematat karena kemampuannya untuk mengisi celah dan memiliki butiran yang dapat dihaluskan. Selain itu, penelitian terdahulu dalam penggunaan arang sebagai *filler* pada pembuatan lapisan perkerasan jalan menunjukkan kinerja yang memadai dalam campuran aspal panas HRS-WC, karena memenuhi standar

yang ditetapkan oleh Bina Marga.(Wijaya, 2021) dan penelitian serupa lainnya seperti Akifah, dkk (2024).

Arang kayu merupakan residu yang terbentuk dari proses pembakaran kayu pada suhu tinggi, menghasilkan material berwarna hitam yang memiliki bobot ringan dan sekitar 80% komposisinya adalah karbon (Efiyanti, dkk 2020). Arang kayu mengandung senyawa karbon nonpolar, mirip dengan senyawa karbon pada aspal. Arang kayu merupakan material lokal yang mudah ditemukan dan harganya jauh lebih terjangkau dan ekonomis dibandingkan dengan semen (Nisumanti dan Yusuf, 2019). Oleh karena itu, penggunaan abu arang kayu sebagai bahan *filler* pengganti dalam campuran aspal sangat ekonomis.

*Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah campuran bergradasi senjang yang terdiri dari kerangka agregat kasar yang dapat mencapai 70% serta mortar bahan pengikat aspal dengan proporsi yang tinggi. Menurut Sombo, dkk (2022), salah satu keunggulan campuran *SMA* adalah ketahanannya terhadap deformasi dan durabilitas yang baik, yang dihasilkan dari kekuatan rangka agregat dan rongga yang diisi dengan mastik yang mengandung kadar aspal tinggi. Kadar aspal yang tinggi ini juga meningkatkan fleksibilitas, sehingga memberikan ketahanan terhadap retak leleh.

Berdasarkan hal itu penelitian ini bertujuan untuk meneliti kelayakan abu arang kayu mindi sebagai *filler* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Pada penelitian ini diharapkan limbah dari pabrik *furniture* dapat dimanfaatkan sebagai arang kayu yang dapat dimanfaatkan kembali dapat memiliki kinerja dan kualitas yang setara atau bahkan lebih baik daripada *filler* konvensional seperti semen atau serbuk batu.

## METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan metode eksperimental yang melibatkan serangkaian percobaan atau pengamatan untuk mengumpulkan data. Data yang terkumpul kemudian akan diproses untuk mendapatkan hasil penelitian, dan akhirnya dibandingkan dengan persyaratan atau standar spesifikasi yang relevan. Standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang digunakan mengacu peraturan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Metode pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *non-probability sampling*, yaitu jenis sampel tidak dipilih secara acak. *Non-probability sampling* yang digunakan adalah *purposive sampling*, yaitu sampel diambil dengan berdasarkan tujuan. Dalam penelitian ini bahwa sampel yang digunakan telah disesuaikan dengan kriteria tertentu yang sudah ditentukan berdasarkan tujuan penelitian. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan *filler* limbah abu arang kayu yang didapatkan dari hasil pengolahan pabrik *furniture* PT. Karya Cipta Unggul Nusantara Kab. Demak, Provinsi Jawa Tengah dengan penerapan penggunaan kadar *filler* sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Serta perihal penggunaan aspal, aspal yang dipilih adalah aspal standar Pen 60/70.

Seluruh rangkaian penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah persiapan dan pemeriksaan, persiapan alat, pembuatan benda uji, perencanaan campuran, pembuatan campuran benda uji, serta rangkaian pengujian yang secara garis besar terdiri dari karakteristik *marshall*, kekuatan aspal (pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*), pengujian *draindown*, dan pengujian *Cantabro Loss (CL)*) dan durabilitas perkerasan (pengujian *Tensile Strength Rasio (TSR)*, pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian sifat fisik material terdiri dari pengujian karakteristik agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal yang akan digunakan. Secara keseluruhan, material yang digunakan telah memenuhi spesifikasi Binamarga revisi 2. Secara rinci, hasil disetiap pengujian disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat jenis	≥ 2,5	2,59
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	1,96
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	≥ 95	98
4	Keausan agregat dengan mesin <i>los angeles</i> (%)	≤ 40	19,32

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat jenis	≥ 2,5	2,70
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	1,42
3	<i>Sand equivalent</i> (%)	≥ 50	92,84

Tabel 3. Hasil Pengujian *Filler*

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat jenis debu batu	2,556
2	Berat jenis abu arang kayu	1,461

Tabel 4. Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

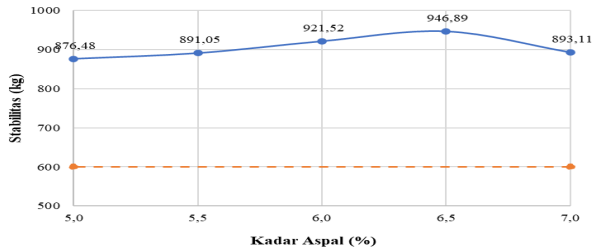
No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,040
2	Penetrasi (mm)	60-70	66,30
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164
4	Titik lembek (°C)	≥ 48	48,5
5	Titik nyala (°C)	≥ 232	315
6	Titik bakar (°C)	≥ 232	320
7	Kelarutan pada <i>TCE</i> (%)	≥ 99	99,32

## Pemeriksaan Karakteristik *Marshall*, *IRS*, dan *Draindown* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum pada campuran *SMA* 25 mm ditentukan berdasarkan kriteria parameter dengan nilai *VITM* bersyarat 3-5%, nilai *VMA* minimum 17%, dan kadar aspal campuran minimum 5% yang mengacu pada peraturan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai berikut.

1. Nilai Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas, cuaca, dan berbagai kondisi lingkungan tanpa mengalami deformasi yang berlebihan atau kerusakan struktural. Nilai stabilitas ditunjukkan pada Gambar 1. berikut.

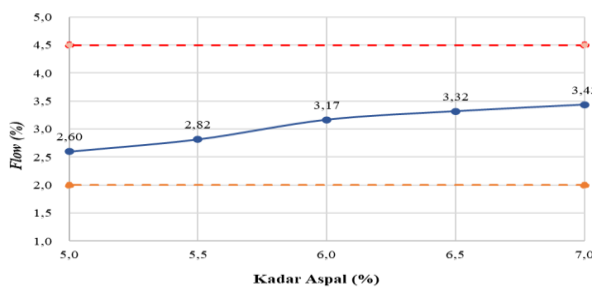


Gambar 1. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas campuran meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Namun, setelah mencapai titik stabilitas tertinggi, nilai stabilitas mulai menurun. Titik optimum berada di kadar aspal 6,5% kemudian menurun. Meningkatnya stabilitas bersamaan dengan meningkatnya kadar aspal, sampai batas optimum dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi akibat semakin banyaknya kadar aspal yang menyebabkan selimut aspal menjadi tebal sehingga mengakibatkan gesekan antar butiran berkurang dan aspal dari pengikat berubah menjadi pelicin antar agregat. Menurut persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2 batas minimal nilai stabilitas untuk campuran SMA adalah 600 kg. Nilai stabilitas kadar aspal 5,0% s/d 7,0% telah memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

2. Nilai Flow

Kelelahan (*flow*) adalah ukuran perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada campuran aspal ketika diberikan beban. Kelelahan merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menilai performa campuran aspal, terutama dalam aplikasi jalan raya. Nilai *flow* ditunjukkan pada Gambar 2. berikut.



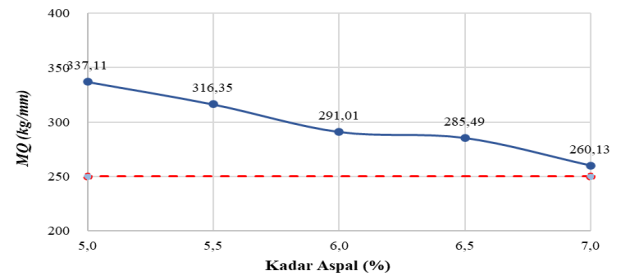
Gambar 2. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai Flow

Nilai *flow* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal, disebabkan karena selimut aspal semakin tebal. Semakin bertambahnya kadar aspal akan meningkatkan nilai *flow* pada campuran. Nilai *flow* yang meningkat menyebabkan campuran semakin bersifat plastis, sehingga campuran akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk saat terkena beban. Dalam spesifikasi Bina Marga

2018 Revisi 2 ditetapkan bahwa nilai *flow* 2 - 4,5 mm. Nilai *flow* pada kadar aspal 5,0% s/d 7,0% memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

3. Nilai Marshall Quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ maka campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil MQ maka perkerasannya semakin lentur. Nilai MQ ditunjukkan pada Gambar 3. berikut.

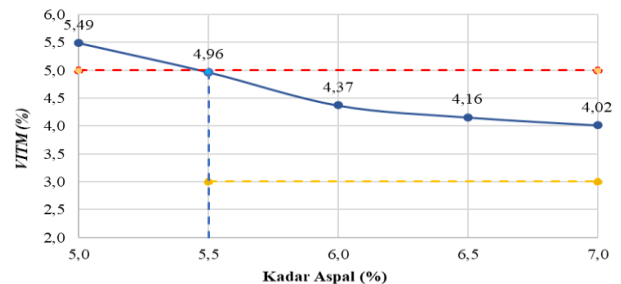


Gambar 3. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai MQ

Nilai MQ menunjukkan bahwa nilai MQ cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini terjadi karena dipengaruhi beberapa terkait struktur dan komposisi campuran aspal-agregat. Peningkatan kadar aspal juga meningkatkan nilai *flow*, menunjukkan bahwa campuran lebih mudah mengalami deformasi ketika diberikan tekanan. Faktor ini menyebabkan nilai MQ turun karena aliran atau *flow* yang besar menunjukkan ketahanan yang rendah terhadap beban. Selanjutnya, ketika kadar aspal berlebih, interaksi antar partikel agregat berkurang, mengurangi gesekan antar partikel dan menurunkan kekuatan struktural campuran. Akibatnya, kestabilan dari campuran menurun. Nilai MQ pada kadar aspal 5,0% s/d 7,0% memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

4. Nilai Void in The Mix (VITM)

VITM adalah persentase yang menunjukkan perbandingan antara rongga udara dan volume total campuran setelah pemadatan. Nilai VITM akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar aspal, karena rongga di antara agregat akan semakin terisi oleh aspal. Nilai VITM ditunjukkan pada Gambar 4. berikut.

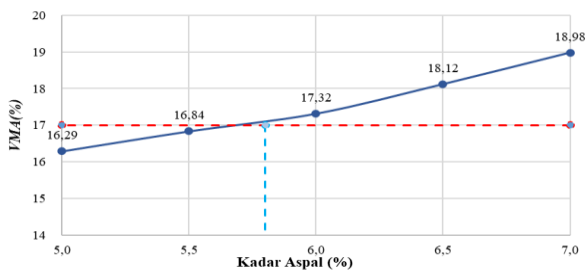


Gambar 4. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai VITM

Nilai *VITM* menunjukkan bahwa nilai *VITM* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Penurunan ini dapat disebabkan oleh semakin banyaknya penggunaan aspal yang menyebabkan bertambahnya jumlah rongga yang terisi aspal (*VFWA*), sehingga mengurangi ukuran rongga antar campuran. Pada kadar aspal 5%, campuran ini tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2, karena batas minimum nilai *VITM* untuk campuran *SMA* adalah 3% dan batas maksimum adalah 5%. Dengan bertambahnya kadar aspal akan menurunkan nilai *VITM* pada campuran. Hal ini menyebabkan campuran menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan oksidasi dan aspal menjadi rapuh.

5. Nilai *Void Mineral Aggregate (VMA)*

*VMA* adalah ukuran volume rongga yang terdapat dalam agregat mineral yang terisi oleh aspal yang dinyatakan dalam persentase. Nilai *VMA* ditunjukkan pada Gambar 5. berikut.

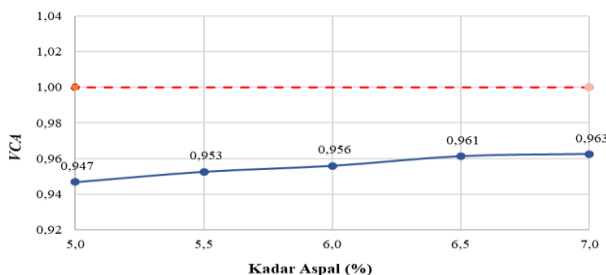


Gambar 5. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Nilai *VMA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, disebabkan karena kadar aspal yang semakin banyak dapat menyelimuti agregat dan mengisi rongga. Pada kadar aspal 5% dan 5,5%, campuran ini tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2, karena batas minimum nilai *VMA* untuk campuran *SMA* adalah 17%. Dengan bertambahnya kadar aspal akan menaikkan nilai *VMA* pada campuran. Hal ini disebabkan semakin tebal aspal yang menyelimuti agregat sehingga jarak rongga antara agregat semakin besar. *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lentur.

6. Nilai *Void in Coarse Agregat (VCA)*

Pengujian *VCA* adalah proses yang dilakukan untuk menentukan volume rongga yang ada pada partikel agregat kasar. Nilai *VCA* ditunjukkan pada Gambar 6. berikut.

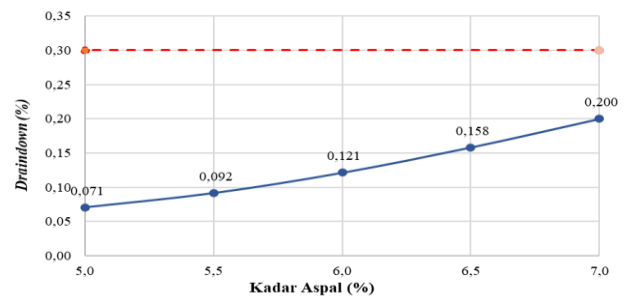


Gambar 6. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai *VCA*

Bahwa nilai *VCA* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Peningkatan ini terjadi karena tingginya kadar aspal dalam campuran yang menyebabkan lapisan aspal menjadi lebih tebal, sehingga jarak antara agregat semakin besar. Akibatnya, kontak antara partikel agregat (*stone-on-stone contact*) dalam campuran *stone matrix asphalt* berkurang. Dari grafik diatas, semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk campuran *SMA* batas nilai *VCA* adalah 1.

7. Nilai *Draindown*

Pengujian *draindown* pada campuran *SMA* dilakukan karena kadar aspal yang tinggi dapat menyebabkan risiko pengaliran aspal. Pengaliran ini berpotensi memengaruhi kualitas campuran secara keseluruhan. Nilai *draindown* ditunjukkan pada Gambar 7. berikut.

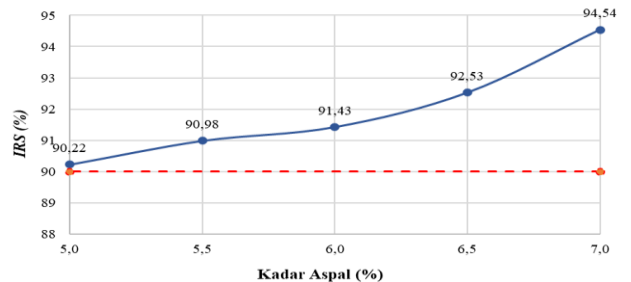


Gambar 7. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai *Draindown*

Nilai *draindown* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena kadar aspal meningkat yang menyebabkan aspal mengalami pengaliran, tetapi nilai *draindown* pada semua kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 disyaratkan untuk campuran *stone matrix asphalt* < 0,3%.

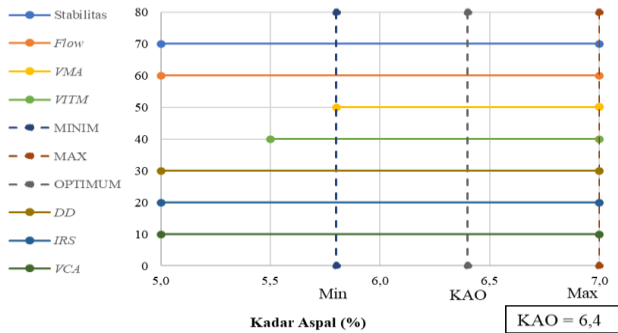
8. Nilai *Index or Retained Sterngth (IRS)*

Nilai *IRS* diperoleh dengan membandingkan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran yang direndam selama 0,5 jam. Nilai *IRS* ditunjukkan pada Gambar 8. berikut.



Gambar 8. Grafik Pengaruh kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS*

Nilai *IRS* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Peningkatan ini disebabkan oleh penurunan nilai *VITM* dan peningkatan nilai *VMA* pada campuran. Dengan demikian, campuran yang dihasilkan mampu menahan keausan yang disebabkan oleh faktor cuaca, air, dan perubahan suhu.



Gambar 9. Penentuan Kadar Aspal Optimum

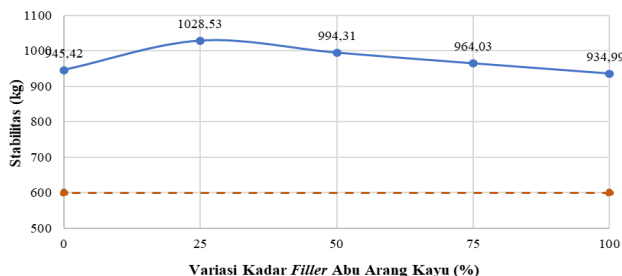
Pada Gambar 9, maka dapat dilihat bahwa KAO yang digunakan untuk variasi substitusi *filler* adalah 6,4%. Pada penelitian ini menggunakan *filler* abu arang kayu sebagai substitusi *filler* debu batu, yang dimana keduanya memiliki berat jenis yang berbeda. Setelah dilakukan pengujian diperoleh nilai berat jenis masing-masing yaitu untuk abu arang kayu sebesar 1,46 gr/cm<sup>3</sup> dan debu batu sebesar 2,556 gr/cm<sup>3</sup>. Maka untuk mendapatkan perbandingan berat volume yang sama dilakukan pengolahan data. Rekapitulasi hasil untuk perbandingan masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5. sebagai berikut.

Tabel 5. Berat Debu Batu dan abu Arang Kayu

Kadar Variasi Substitusi <i>Filler</i> (%)	Berat Debu Batu (gr)	Berat Abu Arang Kayu (gr)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	106,59	0,00	6,4
25	80,03	15,26	
50	53,35	30,52	
75	26,68	45,78	
100	0,00	61,03	

### Pengaruh Substitusi *Filler* Pengganti AAK Pada Pengujian Marshall

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai Stabilitas  
Grafik hasil nilai stabilitas akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



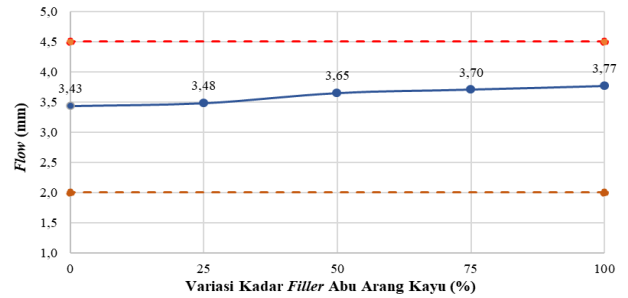
Gambar 10. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK meningkatkan stabilitas hingga kadar 25%, tetapi menurun pada kadar 50% hingga 100%. Pada kadar 25%, *filler* AAK meningkatkan kohesi, kerapatan, dan kontak antar agregat, sehingga memperkuat

stabilitas. Namun, pada kadar 50% hingga 100%, butiran AAK yang lebih halus bercampur dengan aspal membentuk mastik dengan viskositas rendah, yang mengurangi stabilitas. Peningkatan jumlah AAK menyebabkan mastik berlebihan, dan menyebabkan ikatan antar butiran agregat menjadi lemah dan saling terpisah, sehingga nilai stabilitas pun mengalami penurunan.

### 2. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai Flow

Grafik hasil nilai *flow* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 11. berikut.

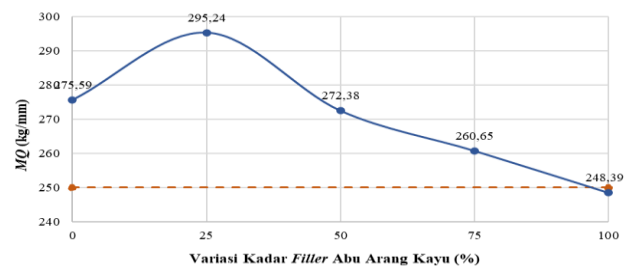


Gambar 11. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Flow

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Peningkatan ini diakibatkan oleh penambahan AAK yang membuat campuran lebih plastis dan kurang mampu menahan beban tinggi. Mastik yang terbentuk semakin banyak dengan viskositas yang lebih rendah. Bertambahnya mastik dalam campuran menyebabkan campuran menjadi lebih plastis, sehingga ketika menerima beban, campuran mengalami deformasi plastis yang lebih signifikan.

### 3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ)

Grafik hasil nilai MQ akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.

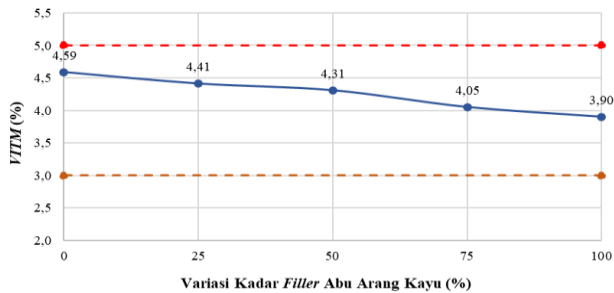


Gambar 12. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap MQ

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK meningkatkan nilai MQ hingga kadar 25%, tetapi menurun pada kadar 50%, 75%, dan 100%. Nilai MQ mengindikasikan kekakuan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas (Hadi dan Fauziah, 2021). Titik optimum tercatat pada kadar 25%, di mana kekakuan campuran paling baik, memberikan fleksibilitas rendah dan membuat campuran lebih tahan terhadap deformasi.

4. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai *Void in The Mix (VITM)*

Grafik hasil nilai *VITM* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 13. berikut.

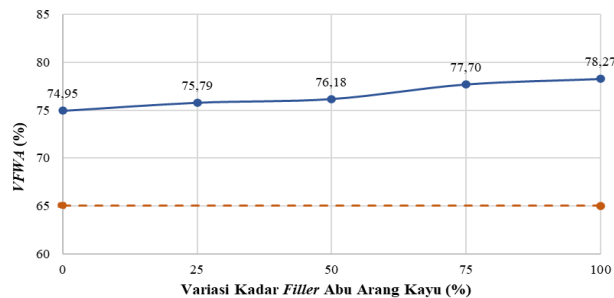


Gambar 13. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VITM*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *VITM* semakin menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan karena *filler* pengganti AAK mengisi lebih banyak rongga dalam campuran. Sifat AAK yang memiliki porositas tinggi yang menyebabkan penyerapan aspal lebih banyak. Akibatnya, rongga udara dalam campuran berkurang, dan lebih banyak aspal terserap oleh *filler*, sehingga menyebabkan penurunan *VITM*. Meskipun kepadatan campuran meningkat, penggunaan aspal yang berlebihan dapat membuat campuran menjadi terlalu lunak dan rentan terhadap deformasi plastis dan menjadi kedap air.

5. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Grafik hasil nilai *VFWA* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 14. berikut.

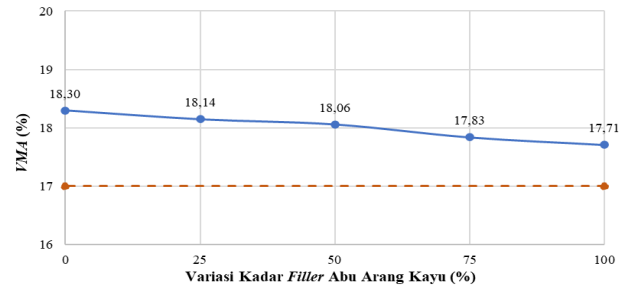


Gambar 14. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VFWA*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *VFWA* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan oleh penyerapan aspal yang berlebihan oleh *filler* AAK. *Filler* ini bersifat poros, ia dapat menyerap lebih banyak aspal, yang mengakibatkan rongga yang seharusnya berfungsi untuk drainase dan deformasi justru terisi penuh. Akibatnya, campuran menjadi terlalu lunak atau kaya aspal, yang berdampak pada penurunan stabilitas serta membuat campuran lebih rentan terhadap deformasi plastis.

6. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai *Void Mineral Aggregate (VMA)*

Grafik hasil nilai *VMA* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 15. berikut.

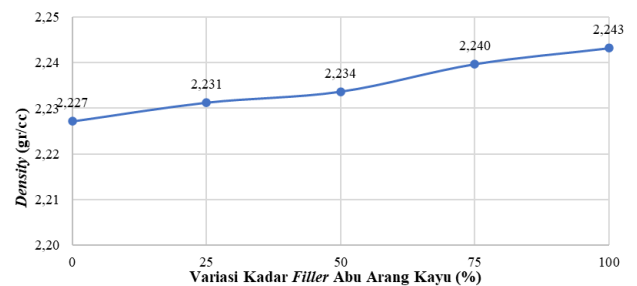


Gambar 15. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VMA*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menyebabkan penurunan nilai *VMA* seiring dengan peningkatan kadar *filler*. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan nilai *VFWA* dan penurunan nilai *VITM*, yang mengurangi jarak antar agregat. Semakin banyak *filler* yang digunakan, semakin sedikit volume rongga yang tersedia untuk diisi aspal, sehingga jumlah aspal yang dapat mengikat agregat berkurang. Penurunan nilai *VMA* ini dapat mengurangi durabilitas dan ketahanan campuran karena aspal tidak cukup untuk membentuk ikatan yang kuat dengan agregat.

7. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* AAK Terhadap Nilai *Density*

Grafik hasil nilai *density* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.



Gambar 16. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Density*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *density* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan karena meningkatnya nilai *VFWA* dan menurunnya nilai *VITM* pada campuran. Nilai *density* mengalami peningkatan yang disebabkan oleh peningkatan *density* yang tidak disertai dengan distribusi aspal dan agregat yang tepat dapat menyebabkan penurunan stabilitas. Meskipun campuran menjadi lebih padat, penyerapan aspal yang berlebihan, kekakuan yang tidak diinginkan, dan penurunan jumlah rongga udara mengakibatkan campuran lebih mudah rusak dan tidak mampu menahan deformasi dengan baik.

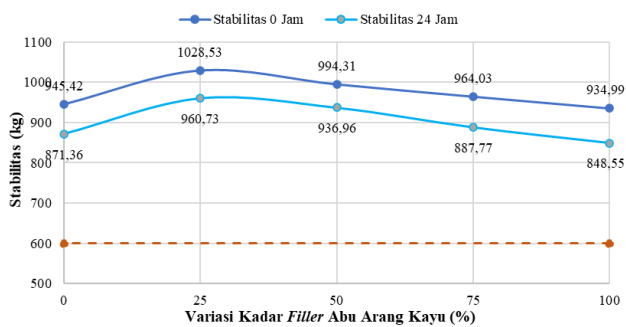
Penelitian ini sejalan dengan penelitian Dayanti, dkk (2024) dalam penelitiannya, Nilai *density* meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah bahan pengisi abu kapur yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah *filler* yang mengakibatkan berkurangnya rongga di antara agregat serta rongga udara dalam campuran yang terisi oleh abu kapur.

**Pengaruh Substitusi *Filler* Pengganti AAK Pada Pengujian *IRS***

Analisis pengaruh substitusi *filler* pengganti AAK terhadap nilai *IRS* adalah sebagai berikut.

1. Nilai Stabilitas Perendaman

Analisis pengaruh kadar *filler* pengganti AAK terhadap nilai stabilitas perendaman 0,5 jam dengan perendaman 24 jam dapat dilihat pada Gambar 17. berikut.

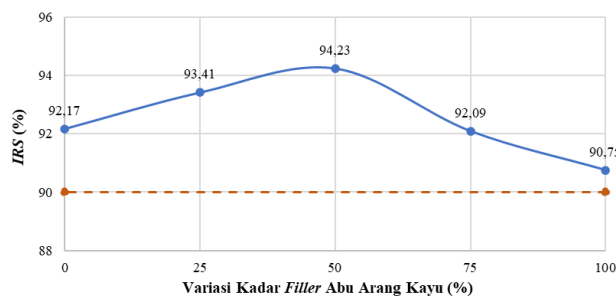


Gambar 17. Grafik Hubungan antara Rendaman dan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 17, dapat dilihat bahwa stabilitas pada sampel yang direndam selama 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan yang direndam selama 0,5 jam. Perubahan suhu yang tinggi membuat campuran aspal melunak, yang pada akhirnya menurunkan nilai stabilitasnya.

2. Nilai *IRS*

Grafik nilai *IRS* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 18 berikut.



Gambar 18. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *IRS*

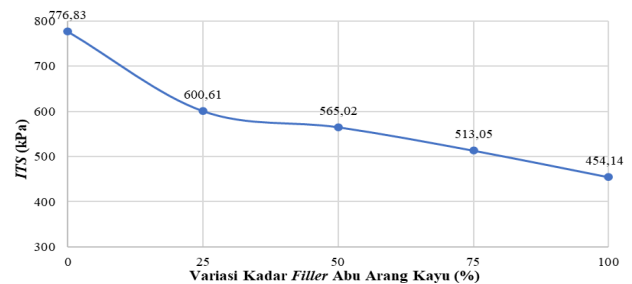
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 18 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK meningkatkan nilai *IRS* hingga kadar 50%, tetapi menurun pada kadar 75% hingga 100%. Pada kadar 0% hingga 50%, *filler* AAK memperbaiki ikatan antara aspal dan agregat serta mengurangi porositas, yang meningkatkan daya tahan terhadap kelembapan. Namun, pada kadar lebih tinggi (75%-100%), kelebihan *filler*

mengurangi efisiensi aspal dalam melapisi agregat dan mengisi rongga, serta menyerap lebih banyak aspal, sehingga mengurangi kekuatan ikatan dan membuat campuran lebih rapuh serta kurang tahan terhadap kelembapan, yang menyebabkan penurunan nilai *IRS*.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Ismadani, dkk (2013) dalam penelitiannya, Nilai *IRS* pada campuran cenderung mengalami *peningkatan* pada kadar 25% dan 50% *filler* ASP dibandingkan dengan 0%. Peningkatan ini kemungkinan disebabkan oleh lapisan aspal yang lebih tebal menutupi agregat, yang membantu memperkuat ikatan antar partikel serta meningkatkan daya tahan campuran terhadap kerusakan yang disebabkan oleh kelembapan.

**Pengaruh Substitusi *Filler* Pengganti AAK Pada Pengujian *ITS***

Analisis pengaruh kadar AAK terhadap nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* dapat dilihat pada Gambar 19. berikut.

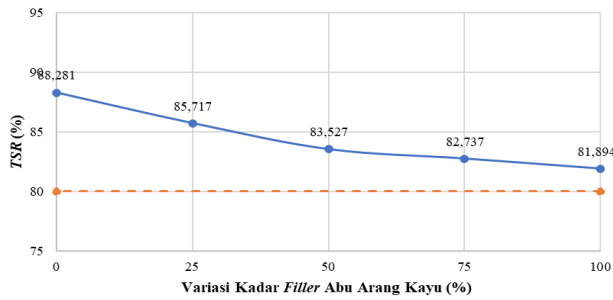


Gambar 19. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *ITS*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 19 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *ITS* menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Penurunan nilai *ITS* terjadi karena *filler* abu arang kayu memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi, yang mengakibatkan lebih banyak aspal terserap oleh *filler*. Akibatnya, jumlah aspal yang tersisa untuk mengikat agregat menjadi berkurang, sehingga ikatan antar agregat menjadi lebih lemah. Kondisi ini menyebabkan penurunan kekuatan tarik tidak langsung (*ITS*). Meskipun *filler* AAK dapat meningkatkan kepadatan campuran, kekurangan aspal yang efektif pada permukaan agregat membuat kekuatan tarik campuran menurun.

**Pengaruh Substitusi *Filler* Pengganti AAK Pada Pengujian *TSR***

Analisis pengaruh kadar AAK terhadap nilai *Indirect Tensile Strength Ratio (TSR)* dapat dilihat pada Gambar 20. berikut.



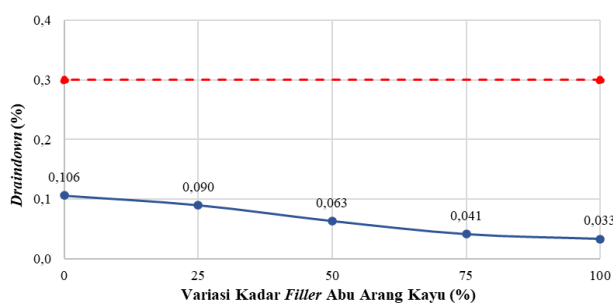
Gambar 20. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi Filler Terhadap TSR

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa substitusi filler AAK menyebabkan penurunan nilai TSR pada campuran SMA seiring peningkatan kadar filler abu arang kayu. Penurunan ini disebabkan oleh daya serap filler AAK yang tinggi terhadap aspal, mengurangi jumlah aspal yang tersedia untuk membentuk ikatan kuat dengan agregat. Akibatnya, campuran menjadi lebih rentan terhadap kelembapan, yang dapat melemahkan ikatan antara aspal dan agregat, menyebabkan penurunan ketahanan terhadap kerusakan akibat air, dan meningkatkan potensi pengelupasan (*stripping*).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Akifah, dkk (2024) dalam penelitiannya, bahwa penambahan AAK dalam campuran aspal beton porous dapat meningkatkan stabilitas struktural, tetapi di sisi lain, penurunan kinerja fungsional seperti nilai VITM. Hal ini dapat mengurangi kemampuan aspal dalam menahan kelembapan, yang berkontribusi terhadap penurunan nilai TSR, karena rongga dalam campuran tertutup oleh filler yang berlebih.

### Pengaruh Substitusi Filler Pengganti AAK Pada Pengujian Draindown

Analisis pengaruh kadar AAK terhadap nilai draindown dapat dilihat pada Gambar 21. berikut.



Gambar 21. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi Filler Terhadap Draindown

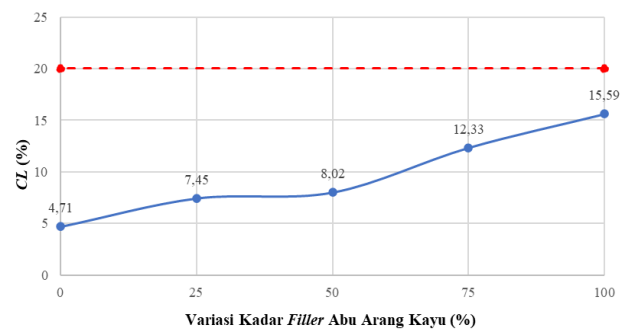
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 21 dapat dilihat bahwa substitusi filler AAK menjadikan nilai draindown menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi filler AAK. Penurunan nilai draindown pada campuran stone matrix asphalt (SMA) dengan filler AAK terjadi karena sifat filler tersebut yang mampu menyerap aspal lebih baik. Filler AAK memiliki kemampuan menyerap aspal, sehingga mengurangi potensi aspal untuk terpisah dari campuran dan mengalir ke bawah (*draindown*). Selain itu,

tekstur dan porositas AAK juga membantu memperbaiki kohesi dalam campuran, menjaga keseragaman distribusi aspal dan agregat, yang akhirnya menurunkan nilai draindown.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Syammaun, dkk (2020) dalam penelitiannya, bahwa penambahan filler dari tempurung kelapa mengakibatkan penurunan nilai draindown, yang menunjukkan bahwa tingkat pemisahan aspal dalam campuran semakin berkurang.

### Pengaruh Substitusi Filler Pengganti AAK Pada Pengujian CL

Analisis pengaruh kadar AAK terhadap nilai CL dapat dilihat pada Gambar 22. Berikut



Gambar 22. Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi Filler Terhadap CL

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 22 dapat dilihat bahwa substitusi filler AAK menjadikan nilai CL meningkat seiring bertambahnya kadar variasi substitusi filler AAK. Peningkatan nilai CL terjadi karena tingginya nilai CL biasanya disebabkan oleh lemahnya ikatan antara agregat dan aspal. Pada campuran yang menggunakan filler AAK, kenaikan nilai ini bisa disebabkan oleh terlalu banyaknya aspal yang terserap oleh filler, sehingga jumlah aspal yang efektif sebagai perekat antar agregat berkurang. Akibatnya, ikatan antar partikel menjadi lebih rapuh, meningkatkan risiko pengelupasan agregat dan keausan.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Fauziah, dkk (2014) dalam penelitiannya, bahwa AAT memiliki daya serap yang lebih tinggi dibandingkan debu batu, sehingga lebih banyak aspal yang terserap dan mengakibatkan jumlah aspal yang tersisa untuk melapisi agregat menjadi lebih sedikit.

### Pengaruh Substitusi Filler Pengganti AAK Pada Pengujian VCA

Hasil pengujian VCA, gradasi yang dipilih menghasilkan nilai rasio  $VCA_{mix}/VCA_{drc}$  berkisar 0,7 ( $<1,0$ ). Kesimpulan dari pengujian ini adalah campuran SMA 25 mm terjadi kontak antar agregat kasar yang baik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran Stone Matrix Asphalt 25 mm dengan variasi substitusi filler abu arang kayu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat disimpulkan sebagai berikut.



1. Penambahan AAK sebagai *filler* dalam campuran SMA 25 mm menunjukkan peningkatan stabilitas dan MQ pada kadar 25%, namun mulai menurun pada kadar 50% hingga 100%. Nilai *flow* meningkat pada kadar 50% hingga 100%, membuat campuran lebih fleksibel, meskipun rentan terhadap deformasi seperti *rutting*. Porositas, seperti VITM dan VMA, menurun seiring peningkatan kadar AAK, sedangkan VFWA dan *density* meningkat. Kenaikan *density* tanpa distribusi aspal yang optimal bisa menyebabkan penurunan stabilitas.
2. Nilai ITS pada campuran SMA 25 mm dengan variasi kadar AAK sebagai *filler* mengalami penurunan seiring peningkatan kadar *filler*. Penurunan ini disebabkan oleh retakan yang semakin lebar, menunjukkan bahwa meskipun AAK meningkatkan beberapa sifat, kelebihan *filler* justru menurunkan kekuatan tarik campuran dan meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan.
3. Nilai IRS meningkat hingga kadar AAK 50%, lalu menurun pada 75% hingga 100%. Peningkatan IRS pada kadar 25% hingga 50% menunjukkan ketahanan campuran terhadap cuaca dan beban lalu lintas. Nilai CL juga meningkat seiring kadar AAK yang lebih tinggi, namun masih memenuhi standar Bina Marga. Pada kadar AAK 100%, daya serap aspal berlebihan menyebabkan ikatan agregat menurun, berpengaruh pada kualitas TSR yang semakin rendah. Nilai *Draindown* menurun karena sifat AAK yang menyerap aspal dengan baik, menjaga distribusi aspal dan agregat tetap stabil.

## SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis dapat memberikan saran sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menganalisis sifat kimia AAK dan VIATOP66 dalam campuran SMA 25 mm. Analisis kimia akan membantu memahami komponen yang memengaruhi sifat fisik dan mekanis campuran serta mengevaluasi potensi kedua bahan sebagai *filler* dalam aspal. Pendekatan ini diharapkan memberikan wawasan lebih dalam untuk inovasi jalan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
2. Untuk campuran SMA 25 mm dengan *filler* AAK, kadar *filler* disarankan tidak melebihi 25% untuk menjaga stabilitas dan fleksibilitas campuran. Penelitian menunjukkan kadar *filler* yang lebih tinggi dapat meningkatkan kerapuhan campuran, sehingga kadar ini penting untuk memastikan kinerja jangka panjang aspal.
3. Penggunaan AAK dalam campuran aspal di Indonesia berpotensi mengurangi limbah pabrik dan meningkatkan kualitas campuran aspal.

## DAFTAR PUSTAKA

Akifah, F., Jaya, Z., dan Supardin, S. (2024). "Efek Penambahan Karbon Abu Arang Kayu ke Dalam Bituman dan Campuran Aspal Beton Porous". *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 7(01).

- Dayanti, R. I., Irwansyah, I., dan Alamsyah, W. (2024). "Abu Batu Kapur Sebagai Alternatif *Filler* dalam Campuran Aspal Beton untuk Lapisan Aus". *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informatika*, 7(1), 65-73.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). "Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Divisi 6". Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Efiyanti, L., Wati, S. A., Setiawan, D., dan Pari, G. (2020). "Sifat Kimia Dan Kualitas Arang Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat (Chemical Properties And Charcoal Quality Of Five Wood Species From West Kalimantan)". *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(1), 55-68.
- Fauziah, M., Kushari, B., dan Ransky, F. (2014) "Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* Pengganti terhadap Karakteristik Marshall Campuran Superpave". In *Proc of 17th International Symposium FSTPT*.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. (2021). "Comparative Study of Marshall Properties and Durability of Superpave and AC-WC Pavement by Using Starbit E-55 and Pen 60/70". In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 933, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- Ismadarni, I., Risman, R., dan Kasan, M. (2013). "Karakteristik Beton Aspal Lapis Pengikat (AC-BC) Yang Menggunakan Bahan Pengisi Pengisi (*Filler*) Abu Sekam Padi". *MEKTEK*, 15(2).
- Nisumanti, S., dan Yusuf, M. (2019). "Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti *Filler* aspal Penetrasi 60/70". *Jurnal Ilmiah Tekno Global*. Vol. 8 No. 2 Desember 2019. Universitas Indo Global mandiri.
- Syammaun, T., Rani, H. A., dan Amali, P. (2020). "Pengaruh Substitusi Styrofoam pada Campuran Aspal Porus dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai *Filler*". *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-14*.
- Sombo, T, A., Alpius., dan Bestari, S. (2022). "Pemanfaatan Limbah Serat Tebu Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Yang Menggunakan Batu Sungai". *Paulus 100 Civil Engineering Journal (PCEJ)*. Vol. 4 No. 2 Juni 2022. Universitas Kristen Indonesia Paulus.
- Wijaya, B. F. A (2021). "Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Arang Batok Kelapa Sebagai Bahan Pengganti *Filler* Pada Lapisan Aus (AC-WC)". Doctoral dissertation. Universitas Muhammadiyah Mataram.