

# TRANSFORMASI LIMBAH ABU ARANG KAYU JATI MENJADI MATERIAL FUNGSIONAL PADA ASPAL STONE MATRIX ASPHALT (SMA)

Rafi Putra Roni<sup>1)</sup>, Muhamad Abdul Hadi<sup>1,\*)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km. 14,5, Sleman, Yogyakarta

<sup>\*)</sup>Correspondent Author: muhamad.abdul.hadi@uii.ac.id

## Abstract

The wood processing industry generates large quantities of teak wood charcoal ash waste that remain underutilized. This study investigates its application as a filler substitute in Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures with varying proportions of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The tests conducted included Marshall Standard (MS), Voids in Coarse Aggregate (VCA), Cantabro Loss (CL), Index of Retained Strength (IRS), and Indirect Tensile Strength (ITS), referring to the 2018 Bina Marga Specifications, Revision 2. The results indicate an optimum filler content at 25%, yielding the highest stability of 1028.53 kg and an ITS value of 454,14 kPa, accompanied by low flow values and good resistance to moisture damage. Increasing the filler content to 50% and 100% reduced stability to 934,99 kg, increased flow, and decreased certain parameters, although MQ values and CL (maximum 15.59%) still met specification requirements. Overall, the 25% substitution level provided the best balance of high stability, low flow, and durability, whereas 75% and 100% substitution levels led to a decline in mixture performance.

**Keywords:** Stone Matrix Asphalt, Alternative Filler, Teak Wood Charcoal Ash

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri perkayuan dan aktivitas pembakaran biomassa di sektor rumah tangga maupun industri telah menghasilkan limbah padat berupa abu arang kayu dalam jumlah yang signifikan. Abu arang kayu merupakan residu sisa pembakaran tidak sempurna dari kayu dan serbuk gergaji, yang umumnya hanya dibuang begitu saja ke lingkungan. Padahal, limbah ini berpotensi mencemari tanah dan air, serta menimbulkan gangguan estetika dan kesehatan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Dalam beberapa tahun terakhir, tren pembangunan berkelanjutan dan

penggunaan bahan ramah lingkungan telah mendorong upaya pemanfaatan limbah industri sebagai bahan tambahan ataupun pengganti pada material konstruksi yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan, daya serap air, dan berat jenis material. Salah satu limbah yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan adalah abu arang kayu, yang dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan kayu maupun penggunaan kayu sebagai bahan bakar di rumah tangga dan sektor industri. Limbah padat ini sering kali tidak dimanfaatkan dan hanya dibuang ke lingkungan sekitar, sehingga apabila terus menumpuk dapat menimbulkan

dampak negatif terhadap kualitas tanah dan air serta meningkatkan pencemaran lingkungan.

Abu arang kayu memiliki potensi yang belum dimanfaatkan secara maksimal yaitu residu yang terbentuk dari proses pembakaran kayu pada suhu tinggi, menghasilkan material berwarna hitam yang memiliki bobot ringan dan sekitar 80% komposisinya adalah karbon. Arang kayu ini terutama terdiri dari karbon, dengan kisaran 85% hingga 98%, sedangkan sisanya adalah abu atau zat kimia lainnya Putra dan Fidausi (2019). Upaya pemanfaatan abu arang kayu tidak hanya berdampak pada peningkatan nilai guna limbah, tetapi juga dapat membantu mengurangi konsumsi bahan baku konvensional yang semakin terbatas. Selain itu, hal ini mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan, yakni dengan menerapkan konsep pemanfaatan limbah sebagai sumber daya alternatif. Abu arang kayu hasil pembakaran disaring menggunakan saringan No.200 agar diperoleh butiran yang halus. Sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan bangunan dan percepatan laju konstruksi, diperlukan pencarian solusi alternatif dengan menggunakan sumber daya alam yang tersedia. Oleh karena itu, inovasi perlu dilakukan dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan pengganti. (Simanjuntak, dkk. 2021).

Perkerasan jalan merupakan lapisan konstruksi yang terletak di antara tanah dasar dan beban lalu lintas, berfungsi untuk memberikan pelayanan yang aman dan nyaman bagi sarana transportasi. Selama masa layanannya,

perkerasan diharapkan mampu menahan beban kendaraan tanpa mengalami kerusakan yang signifikan. Salah satu jenis campuran beraspal yang memiliki kemampuan dalam meningkatkan ketahanan dan durabilitas adalah *Stone Matrix Asphalt (SMA)* (Saed, dkk. 2021; Devulapalli, dkk 2022)

Menurut Pratama dan Hadi (2024), salah satu kelebihan campuran *SMA* adalah kemampuannya menahan deformasi serta memiliki daya tahan yang baik. Hal ini diperoleh dari struktur rangka agregat yang kuat dan rongga yang terisi mastik dengan kadar aspal tinggi. Kandungan aspal yang lebih banyak tersebut juga meningkatkan fleksibilitas campuran, sehingga lebih tahan terhadap retak akibat kelelahan. *SMA* juga diketahui menggunakan agregat kasar dan *filler*, yang disusun dalam susunan agregat bergradasi terbuka. Kadar *filler* pada campuran *SMA* akan relatif sedikit namun dapat memberi dampak yang besar dikarenakan dapat meningkatkan stabilitas dari campuran (Muniandy, dkk. 2013).

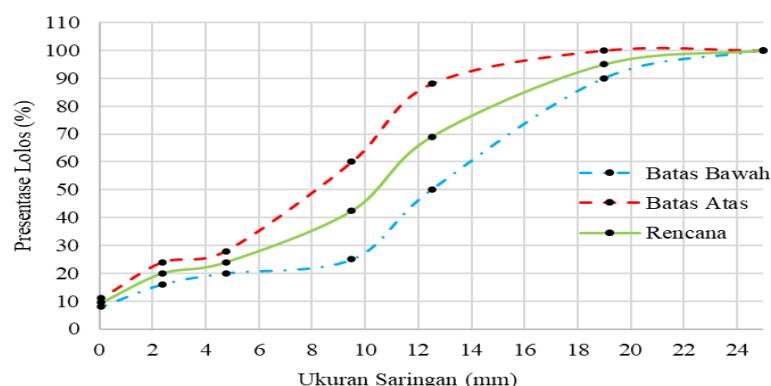
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengekslorasi lebih lanjut dan lebih spesifik perihal potensi pemanfaatan Abu Arang Kayu Jati (AAKJ) sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* menggunakan tinjauan pengujian terhadap karakteristik *Marshall Standard (MS)*, *Indirect Resilient Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Voids In Coarse Aggregate (VCA)*, dan *Cantabro Loss*

(CL). Keseluruhan rangkaian pengujian ini diharapkan dapat memberikan hasil guna mendukung dampak pemanfaat limbah yang berasal dari industri pengolahan kayu serta kedepannya dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan alternatif yang mampu menawarkan kinerja dan mutu yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan *filler* konvensional seperti semen maupun abu batu.

## METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Universitas Islam Indonesia untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah abu arang kayu jati (AAKJ) sebagai bahan pengganti *filler* dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari

total *filler* dalam rencana campuran perkerasan SMA, sedangkan untuk material lainnya menggunakan material standar yang tersedia pada Laboratorium yaitu agregat yang berasal dari Clereng, Kulon Progo dan aspal Pertamina 60/70. Seluruh tahapan pengujian material seperti berat jenis, penetrasi, daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar dan kelarutan terhadap TCE pada aspal serta berat jenis, penyerapan agregat terhadap air, kelekatatan agregat terhadap aspal, keausan agregat dan *sand equivalent* pada agregat dilaksanakan dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai standar utama. Lebih lanjut, gradasi campuran SMA dan limbah AAKJ yang gunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut.



Gambar 1. Gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA)



Gambar 2. Limbah Abu Arang Kayu Jati (AAKJ)

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dilakukan menggunakan metode Marshall sesuai ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Parameter yang dianalisis meliputi nilai *Stability* dan *flow*, serta parameter volumetrik campuran. Berdasarkan nilai KAO yang diperoleh, benda uji kemudian dibuat sesuai variasi kadar AAKJ untuk dilakukan pengujian kinerja campuran.

Pengujian kinerja campuran meliputi MS dan VCA yang dilakukan berdasarkan metode Marshall, pengujian CL untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap pelepasan butiran agregat, pengujian IRS untuk menilai ketahanan campuran terhadap pengaruh air melalui perendaman, serta pengujian ITS dan TSR untuk mengevaluasi kuat tarik tidak langsung dan ketahanan campuran

terhadap kerusakan akibat kelembapan. Seluruh pengujian tersebut juga dilaksanakan sesuai prosedur dan kriteria evaluasi yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang berlaku.

Setelah seluruh hasil pengujian yang diperoleh, meliputi MS, VCA, CL, IRS, ITS, dan TSR, dievaluasi terhadap persyaratan spesifikasi untuk menilai pengaruh variasi penggunaan AAKJ terhadap kinerja campuran perkerasan. Total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 150 sampel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat Fisik Material

Keterpenuhan hasil pengujian sifat fisik material dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Aspal Pertamina 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Berat Jenis	$\geq 1$	1,040	Memenuhi
2.	Penetrasi (mm)	60/70	66,50	Memenuhi
3.	Daktilitas ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 100$	164	Memenuhi
4.	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	48,5	Memenuhi
5.	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	310,5	Memenuhi
6.	Titik Bakar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	313	Memenuhi
7.	Kelarutan pada TCE (%)	$\geq 99$	99,51	Memenuhi

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Syarat	Kasar	Halus	Filler
1.	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,57	2,65	2,544
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$\leq 3$	2,59	2,61	-
3.	Kelekanan Agregat Terhadap Aspal (%)	$\geq 95$	96	-	-
4.	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	$\leq 40$	12,20	-	-
5.	<i>Sand Equivalent</i>	$\geq 50$	-	68,89	-

## Hasil Pemeriksaan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum campuran SMA ditentukan berdasarkan parameter dengan nilai stabilitas  $\geq 600$  kg, *Flow* 2-4,5 mm,  $MQ \geq 250$  kg/mm, *VITM* 3-5%,  $VITM \geq 3-5$ , *VMA*  $\geq 17\%$  dan *density*  $\geq 2\%$ . KAO ditentukan disetiap

kadar persen abu karang kayu jati yang nantinya akan digunakan secara lanjut untuk proses eksplorasi terhadap beberapa parameter uji yang telah ditentukan. Rekapitulasi hasil pemeriksanaan KAO dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi KAO

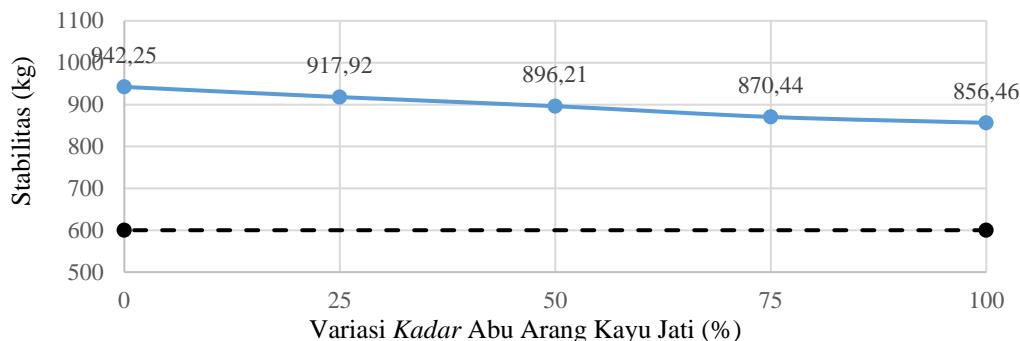
Abu Arang Kayu Jati (%)	Kadar Aspal Min (%)	Kadar Aspal Max (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	5,95	7,4	6,73
25	5,76	7,4	6,63
50	5,64	7,4	6,57
75	5,58	7,4	6,54
100	5,5	7,4	6,5

## Karakteristik MS pada Campuran SMA Menggunakan Subtitusi

### 1. Stabilitas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran

dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi yang berlebihan. Grafik stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Stabilitas

Berdasarkan Gambar 3, nilai stabilitas dengan substitusi AAKJ mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan campuran dengan substitusi *filler* AAKJ memiliki struktur berpori dan permukaan kasar yang cenderung menyerap air lebih banyak. Selain itu,

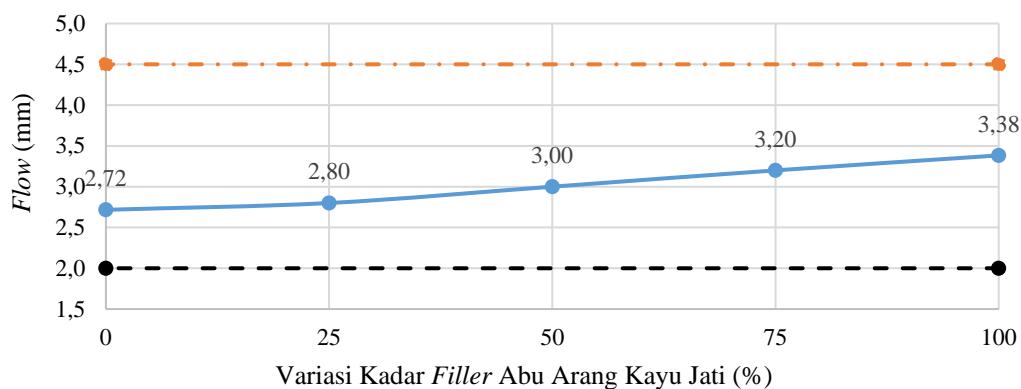
karakteristik AAKJ yang berbentuk bulat dan permukaannya lebih halus turut memperlemah ikatan dengan aspal. Hal ini berbeda dengan Pasir Clereng yang memiliki permukaan kasar, sehingga mampu menciptakan ikatan yang lebih kuat dengan aspal. Seiring meningkatnya kadar AAKJ

dalam campuran, nilai stabilitasnya pun terus menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar proporsi abu arang kayu jati, semakin berkurang pula kemampuan campuran dalam menahan beban karena melemahnya ikatan antar material di dalamnya. Hal ini sejalan dengan Rohman, dkk (2020) yang menyatakan penurunan stabilitas ini terjadi karena arang kayu memiliki

berat jenis yang lebih ringan dibandingkan *filler* konvensional seperti abu batu.

## 2. *Flow*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi plastis yang terjadi pada campuran akibat pembebanan. Grafik *flow* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



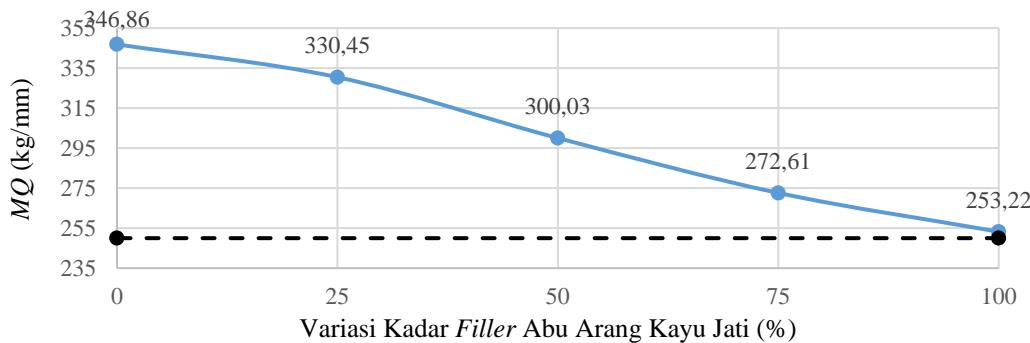
Gambar 4. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Flow*

Pada Gambar 4, nilai *flow* pada campuran *SMA* menghasilkan nilai yang semakin menaik. Peningkatan ini terjadi akibat penambahan *filler* dari abu arang kayu jati yang membuat campuran menjadi lebih plastis dan kurang tahan terhadap beban berat. Jumlah mastik yang terbentuk dalam campuran juga bertambah dengan viskositas yang lebih rendah. Bertambahnya mastik menyebabkan sifat plastis campuran meningkat, sehingga ketika menerima beban, campuran cenderung mengalami deformasi plastis yang lebih besar. Penelitian ini sejalan dengan Ridwan dan Nadia (2017) dalam penelitiannya,

campuran aspal dengan variasi kadar *filler* menunjukkan peningkatan nilai *flow* seiring bertambahnya kadar *filler* tersebut. Hal ini terjadi karena semakin banyak *filler* pengganti yang digunakan, campuran menjadi lebih plastis dan kurang mampu menahan deformasi.

## 3. *MQ*

Nilai *MQ* digunakan untuk menggambarkan tingkat kekakuan campuran aspal yang diperoleh dari perbandingan antara stabilitas dan *flow*. Grafik *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



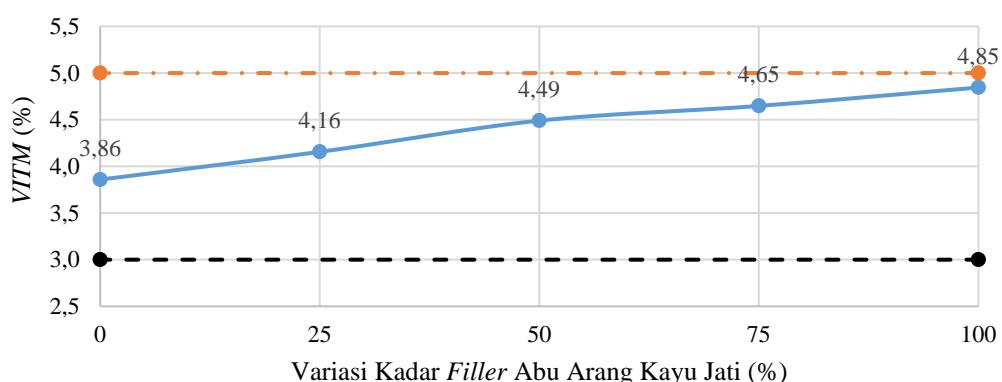
Gambar 5. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan Gambar 5, nilai *MQ* pada campuran *SMA* cenderung menurun seiring semakin besar persentase substitusi *filler* AAKJ. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar AAKJ, maka keleksibilitas campuran berkurang. Sehingga pada titik optimum, nilai *MQ* menunjukkan fleksibilitas rendah, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Bethary, dkk (2020) yang menyatakan

bahwa penurunan nilai *MQ* terjadi karena melemahnya sifat kohesi dan adhesi antara aspal dan agregat.

#### 4. *VITM*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase rongga udara dalam campuran aspal yang memengaruhi durabilitas dan kinerja perkerasan. Grafik *VITM* dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VITM*

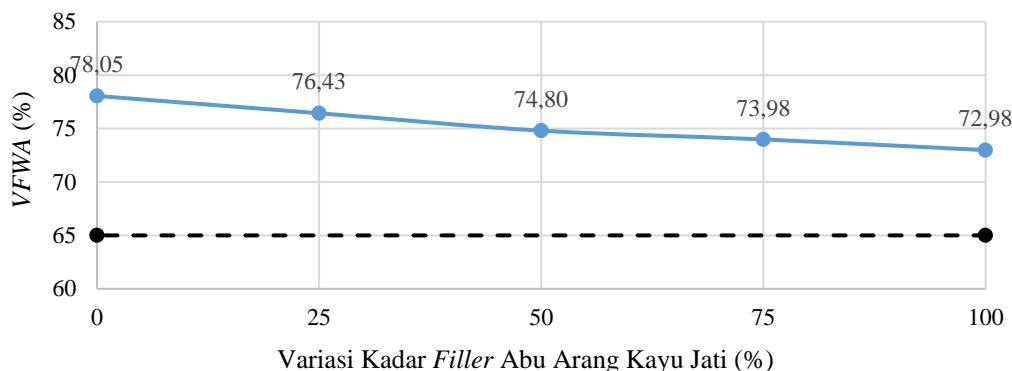
Pada Gambar 6, nilai *VITM* pada campuran *SMA* dengan substitusi AAKJ akan semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai *VITM* pada campuran dengan substitusi *filler* abu arang kayu jati berpengaruh.

Hal ini disebabkan oleh berat jenis *filler* tersebut yang lebih rendah, sehingga pada massa yang sama, volume *filler* menjadi lebih besar. Selain itu, tekstur yang cenderung halus membuat aspal kehilangan sifat plastisnya dan

mengurangi kemampuannya dalam mengisi celah antar agregat. Akibatnya, campuran yang terbentuk memiliki rongga udara lebih banyak sehingga air dan udara lebih mudah masuk serta berpotensi menurunkan keawetan campuran.

### 5. VFWA

Parameter ini menggambarkan persentase rongga dalam agregat yang terisi oleh aspal. Grafik VFWA dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



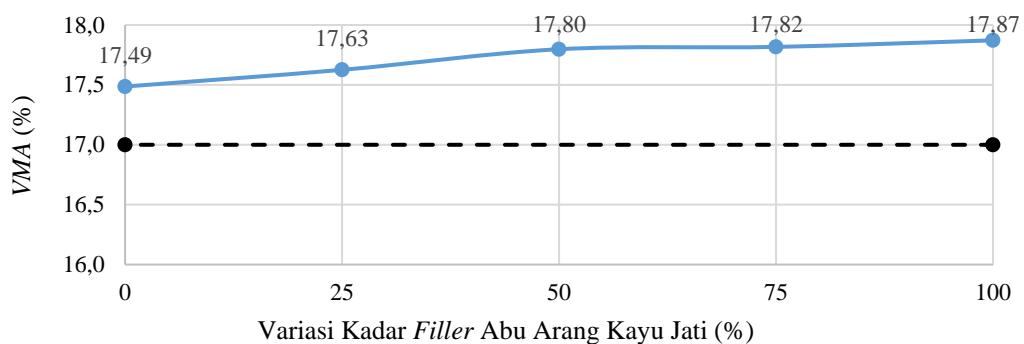
Gambar 7. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap VFWA

Berdasarkan Gambar 7, nilai VFWA pada campuran SMA dengan substitusi *filler* AAKJ mengalami penurunan. Berdasarkan hasil yang didapatkan nilai VFWA pada kadar substitusi *filler* AAKJ 100% memiliki nilai diatas minimum yang disyaratkan, maka dapat diindikasikan bahwa AAKJ mampu menyerap aspal dan *film* aspal yang tebal, membuat campuran memiliki ketahanan terhadap pengaruh udara dan air sehingga campuran menjadi lebih awet. Penelitian ini sejalan dengan Chasanah dan Sukmo (2023) dalam penelitiannya bahwa penambahan *filler* menghasilkan nilai VFWA yang mengalami penurunan hal

ini disebabkan fungsi aspal selain sebagai bahan ikat juga sekaligus sebagai pengisi rongga dalam campuran, semakin nilai VFWA penurunan dapat menurunkan kekedapan campuran terhadap air dan bisa membuat campuran mudah mengeras dan tidak awet.

### 6. VMA

Nilai VMA menunjukkan persentase rongga dalam susunan agregat yang tersedia untuk diisi oleh aspal dan udara, yang berpengaruh terhadap durabilitas campuran. Grafik VMA dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



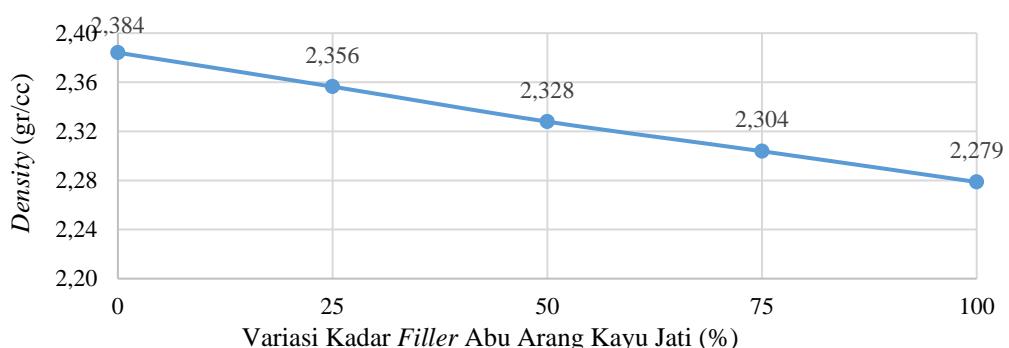
Gambar 8. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap VMA

Berdasarkan Gambar 8, nilai VMA pada campuran *SMA* dengan substitusi *filler* AAKJ mengalami peningkatan. Nilai VMA yang mengalami peningkatan mengindikasikan bahwa jarak antar agregat semakin menjauh. Hal ini dapat disebabkan makin besarnya nilai pori campuran atau makin tebalnya *film* aspal pada agregat. Nilai VMA yang

tinggi menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran.

#### 7. Density

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kepadatan campuran aspal. Grafik *density* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Density

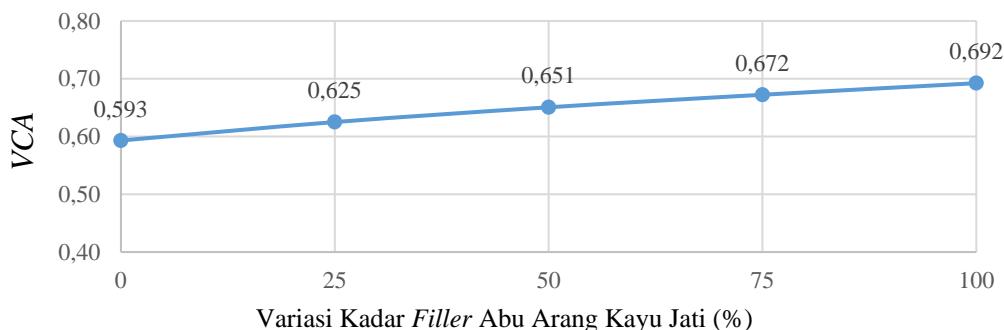
Berdasarkan Gambar 9, nilai *density* pada campuran *SMA* dengan substitusi *filler* AAKJ nilai *density* mengalami penurunan. Penurunan densitas juga disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara kedua jenis *filler* yang digunakan. Karena densitas merupakan rasio antara massa dan volume, maka AAKJ yang memiliki berat jenis lebih rendah akan

menghasilkan volume yang lebih besar pada massa yang sama, sehingga berdampak pada nilai densitas yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kerapatan campuran dengan *filler* AAKJ lebih rendah dibandingkan campuran tanpa substitusi.

#### 8. VCA

Parameter ini menunjukkan persentase rongga pada agregat kasar yang memengaruhi stabilitas struktur rangka

agregat dalam campuran aspal. Grafik VCA dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



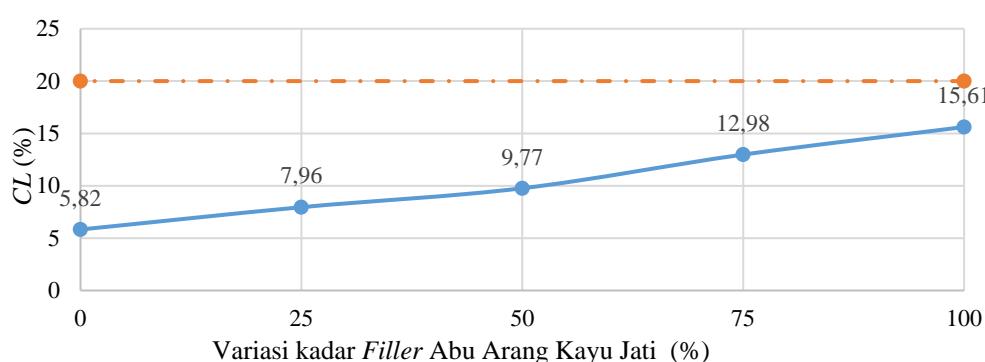
Gambar 10. Grafik Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi Filler Terhadap VCA

Berdasarkan Gambar 10, nilai VCA pada campuran SMA dengan substitusi *filler* AAKJ mengalami peningkatan. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai VCA pada campuran dengan substitusi *filler* AAKJ tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan meningkatnya nilai *VITM* dan nilai *VMA* serta penurunannya nilai *VFWA*, sehingga jarak rongga antara agregat mengalami peningkatan. Sehingga akan

mengurangi *stone-on-stone contact* pada campuran SMA.

#### Karakteristik Pengujian *CL* pada Campuran SMA Menggunakan Substitusi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran aspal terhadap pelepasan butiran agregat. Grafik *CL* dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi Filler Terhadap CL

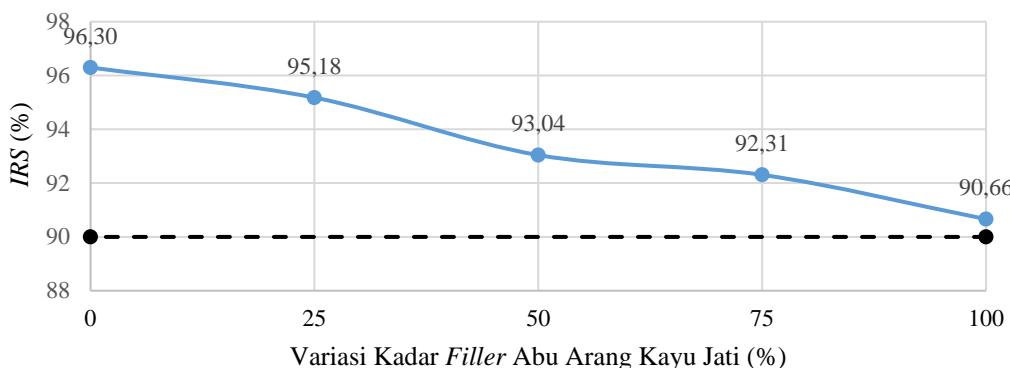
Berdasarkan Gambar 11, nilai *CL* pada campuran SMA dengan substitusi *filler* AAKJ menunjukkan adanya peningkatan. Kondisi ini

mengindikasikan bahwa penggunaan *filler* AAKJ berpengaruh terhadap karakteristik campuran. Pengaruh tersebut diduga berasal dari sifat

pozolanik AAKJ yang mampu memperkuat ikatan antara agregat dan aspal. Selain itu, nilai CL yang masih berada dalam batas spesifikasi sejalan dengan hasil pengujian VCA, yang menunjukkan bahwa campuran memiliki struktur *stone-on-stone contact* yang baik. *Stone-on-stone contact* adalah kondisi dimana agregat kasar pada campuran SMA saling bersinggungan dan membentuk struktural yang saling mengunci.

### Karakteristik Pengujian IRS pada Campuran SMA Menggunakan Subtitusi

Pengujian ini bertujuan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh air dengan membandingkan kekuatan sebelum dan sesudah perendaman. Grafik IRS dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi Filler Terhadap IRS

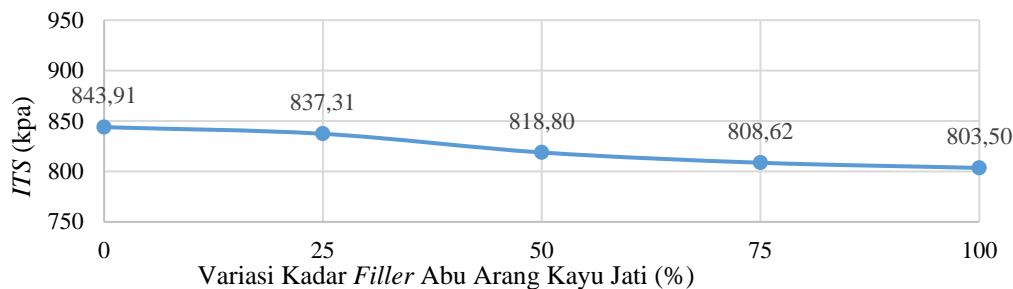
Berdasarkan Gambar 12, nilai IRS pada campuran SMA dengan substitusi *filler* AAKJ IRS mengalami penurunan, pada. Hal ini mengindikasikan AAKJ memiliki berat jenis lebih rendah, yang membuat jumlah pasir semakin sedikit dari pada Clereng pada berat yang sama. Hal ini membuat AAKJ kurang efektif dalam mengurangi *void* yang membuat penurunan kerapatan dan kepadatan pada campuran menjadi kurang baik, sehingga membuat campuran aspal kurang tahan terhadap perendaman pada suhu tinggi. Penurunan nilai IRS pada tahap ini menunjukkan bahwa campuran aspal kurang mampu mempertahankan

kekuatannya meskipun terkena air dan suhu titik keritis aspal. Seiring dengan peningkatan kadar substitusi AAKJ nilai IRS terus mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan penelitian Weimintoro, dkk (2021) menyatakan penurunan stabilitas diilustrasikan seperti kondisi perkerasan jalan yang tergenang air saat musim hujan, yang berpotensi memengaruhi kinerja lapisan aspal, terutama dalam hal ketahanan, durabilitas, dan kemampuan menahan beban. Walaupun terjadi penurunan, seluruh nilai stabilitas 24 jam yang diperoleh tetap berada di atas batas minimum 800 kg untuk jalan dengan lalu lintas berat.

### **Karakteristik Pengujian ITS pada Campuran SMA Menggunakan Subtitusi**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tarik tidak langsung

campuran aspal yang berkaitan dengan ketahanan terhadap retak dan kerusakan akibat beban lalu lintas. Grafik *ITS* dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.



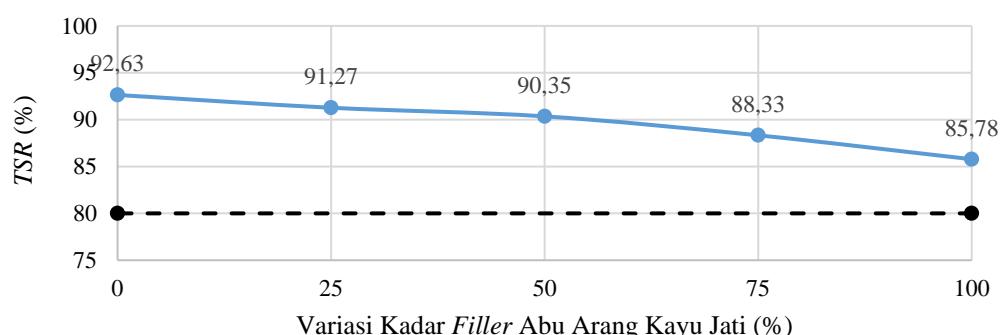
Gambar 13 Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *ITS*

Berdasarkan Gambar 13, nilai *ITS* pada campuran *SMA* dengan substitusi *filler* AAKJ cenderung menurun. Hal ini mengartikan bahwa AAKJ memiliki sifat *pozzolan* sehingga ikatan antar agregat dan aspal menjadi lebih baik. Hal ini sejalan dengan penelitian Pratama dan Hadi (2024) yang menyatakan Substitusi *filler* dengan abu arang kayu menyebabkan penurunan nilai *ITS* seiring meningkatnya kadar *filler* yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh sifat AAK yang memiliki daya serap tinggi terhadap

aspal, sehingga sebagian besar aspal terserap oleh *filler* tersebut.

### **Karakteristik Pengujian TSR pada Campuran SMA Menggunakan Subtitusi**

Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat air dengan membandingkan nilai kuat tarik sebelum dan sesudah kondisi perendaman. Grafik *TSR* dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Pengaruh AAKJ Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *TSR*

Pada Gambar 14, nilai *TSR* pada campuran *SMA* dengan substitusi *filler* AAKJ nilai *TSR* mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat bahwa *filler* AAKJ menjadikan nilai *TSR* menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* tersebut. Penurunan nilai *TSR* pada campuran *SMA* dengan *filler* AAKJ disebabkan oleh sifat *filler* tersebut yang memiliki daya serap tinggi terhadap aspal. Ketika *filler* AAKJ menyerap lebih banyak aspal, jumlah aspal yang tersisa untuk membentuk ikatan kuat dengan agregat menjadi berkurang. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi lebih rentan terhadap efek kelembapan dan air. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tajudin dan Suparma (2017), yang menunjukkan bahwa penurunan nilai *TSR* disebabkan oleh adanya pengaruh air yang melemahkan ikatan antara agregat dan aspal, sehingga mengurangi kekuatan tarik campuran.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap keseluruhan pengujian *Marshall Standard* (MS), *Void in Coarse Aggregate* (VCA), *Cantabro Loss* (CL), *Index of Retained Strength* (IRS), *Indirect Tensile Strength* (ITS), dan *Tensile Strength Ratio* (TSR), dapat disimpulkan bahwa limbah yang berasal dari industri pengolahan kayu (Abu Arang Kayu Jati/AAKJ) berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengganti *filler*, dengan batas maksimal penggunaan sebesar

25% dari total proporsi *filler* dalam campuran perkerasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bethary, R.T., Intari, D.E., Fathonah, W., dan Miftaful, Z., 2020, Pengaruh Air Hujan di Kota Industri terhadap Kinerja Campuran Beraspal Modifikasi Polimer. *Jurnal Transportasi*, 20(3), 213–220.
- Chasanah, F., dan Sukmo, T.A., 2023, Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan *Filler* Pengganti pada Campuran AC-WC. *AJIE - Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 4(1), 82-90.
- Devulapalli, L., Sarang, G. dan Kothandaraman, S., 2022, Characteristics of aggregate gradation, drain down and stabilizing agents in stone matrix asphalt mixtures: A state of art review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9(2), pp.167-179.
- Hawari, F., dan Lizar, 2021, Analisis Pengaruh Penggantian *Filler* Abu Sawit Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (AC-WC). *Jurnal Inovtek Seri TEKLA*, 3(1), 1 – 6.
- Muniandy, R., Aburkaba, E. dan Taha, R., 2013, Effect of mineral filler type and particle size on the engineering properties of stone mastic asphalt pavements. *The Journal of Engineering Research*, 10(2), pp.13-32.

- Pratama, F.Y., dan Hadi, M.A., 2024, Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. *AGREGAT*, 9(2), 1162-1170.
- Putra, H.K., dan Fidausi, M., 2019, Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar 10% Terhadap *Filler* Semen Pada Campuran Perkerasan *AC-WC*. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura* Vol. 4 No.2 Desember 2019 ISSN 2527-5542.
- Ridwan, F.S., dan Nadia, N., 2017, Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton. *Konstruksia*, 8(2), 1-8.
- Rohman, M.F., Hasanuddin, A., dan Wicaksono, L.A., 2020, Penggunaan Filler Arang Kayu Pada Aspal Lataston Dan Aspal Laston. *Jurnal Simetrik*, 10(2), 368-371.
- Saed, S.A., Kamboozia, N., Ziari, H. dan Hofko, B., 2021, Experimental assessment and modeling of fracture and fatigue resistance of aged stone matrix asphalt (SMA) mixtures containing RAP materials and warm-mix additive using ANFIS method. *Materials and Structures*, 54(6), p.225.
- Simanjuntak, A.J., dan Silitonga, S.P., 2021, Pemanfaatan Abu Serbuk Kayu Sebagai Tambahan *Filler* Pada Campuran Perkerasan Jalan Jenis HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(1), 1-10.
- 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*.
- Tajudin, A.N., dan Suparma, L.B., 2017, Pengaruh Rendaman pada *Indirect Tensile Strength* Campuran *AC-BC* dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 166–173.
- Weimintoro, W., Sari, R.N.A., Hermawan, O.H., dan Santoso, T.H., 2021, Pengaruh Lama Perendaman Benda Uji Ac-Wc Terhadap Nilai Stabilitas Dan Nilai Kelelahan (*Flow*) Dengan Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018. *SIGMA: Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 17-28.