

# PARAMETER MARSHALL DAN KOEFISIEN PERMEABILITAS CAMPURAN FLY ASH DAN ABU SEKAM PADA ASPAL GEOPORI (MARSHALL PARAMETER AND PERMEABILITY COEFFICIENT OF FLY ASH AND HUSK ASH MIXTURE IN GEOPOROUS ASPHALT)

Tasya Amelia<sup>1)</sup>, Indrayani<sup>1)\*</sup>, Kosim<sup>1)</sup>, Tata Amalia<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

<sup>\*)</sup>indrayani@polsri.ac.id

Diterima: 27 Maret 2024; direvisi: 30 November 2024; disetujui: 01 Desember 2024;

## ABSTRAK

Penggunaan aspal geopori menjadi alternatif ramah lingkungan karena pembuatannya memanfaatkan limbah serta dalam pengaplikasiannya dapat membantu peresapan air ke dalam tanah. Limbah yang digunakan dalam pembuatan aspal geopori pada penelitian ini adalah fly ash (FA) dan abu sekam padi (AS). Fly ash memiliki sifat pozzolan, dan abu sekam mengandung unsur karbon (C) dan silika yang berfungsi sebagai perekat. Penggunaan aspal geopori pada bahu jalan dapat menjadi alternatif dalam penyerapan air yang lebih cepat tanpa merusak lapisan perkerasan yang ada di bawahnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi campuran antara FA dan AS sebagai filler untuk mendapatkan variasi campuran optimal dalam pembuatan aspal geopori. Perbandingan campuran filler dalam pembuatan benda uji dengan variasi campuran FA dan AS menggunakan metode substitusi filler pada pembuatan aspal normal, yaitu semen. Pada variasi kadar campuran aspal normal, semen yang digunakan sebanyak 2% dari berat aspal disubstitusikan dengan campuran FA dan AS untuk pembuatan benda uji aspal geopori dengan variasi kadar campuran filler. Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan hasil kadar aspal optimum (KAO) sebesar 4,6%. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa variasi kadar campuran yang paling optimum adalah pada campuran 100% AS : 0% FA dengan nilai stabilitas sebesar 729,556 kg, nilai flow 5,37 mm, nilai VIM (Void In the Mix) 20,86%, Marshall Quotient (MQ) 135,82 kg/mm, dan nilai koefisien permeabilitas 0,447 cm/det. Nilai parameter Marshall dan nilai koefisien permeabilitas memenuhi spesifikasi AAPA 2004, yaitu stabilitas 500 kg, nilai flow 2-6 mm, nilai VIM 18-25%, MQ 400 kg/mm, dan koefisien permeabilitas 0,1-0,5 cm/det.

**Kata Kunci:** aspal geopori, abu sekam, fly ash, marshall tes, koefisien permeabilitas

## ABSTRACT

The use of geoporous asphalt is an environmentally friendly alternative because it is made using waste and in its application it can help water absorption into the soil. The waste used to manufacture porous asphalt in this study was fly ash (FA) and rice husk ash (AS). Fly ash has pozzolanic properties, and rice husk ash contains carbon (C) and silica elements, which function as adhesives. Using geopore asphalt on the shoulder of the road can be an alternative to faster water absorption without damaging the pavement layer underneath. This study aimed to obtain a mixture variation between FA and AS as fillers for optimal mixture variation in manufacturing porous asphalt. Comparison of filler mixtures in manufacturing test objects with FA and AS mixtures variations using the filler substitution method in the manufacture of regular asphalt, namely cement. In the variation of normal asphalt mixture content, the cement used is 2% from the weight of asphalt substituted with a mixture of FA and AS for the manufacture of geoporous asphalt test specimens with variations in filler mixture con. This study used 60/70 penetration asphalt with an optimum asphalt content (KAO) of 4.6%. From the test results, it was found that the most optimum mixture content variation was in a mixture of 100% AS: 0% FA with a stability value of 729.556 kg, a flow value of 5.37 mm, a VIM (Void In the Mix) value of 20.86%, a Marshall Quotient (MQ) of 135.82 kg/mm, and a permeability coefficient value of 0.447 cm/sec. The Marshall parameter values and permeability coefficient values meet the AAPA 2004 specifications, namely 500 kg stability, 2-6 mm flow value, 18-25% VIM value, 400 kg/mm MQ, and a permeability coefficient of 0.1-0.5 cm/sec.

**Keywords:** Geoporous Asphalt, Husk Ash, Fly Ash, Marshall Test, Permeability Coefficient

## PENDAHULUAN

Pembangunan jalan merupakan salah satu bagian dari pembangunan infrastruktur dalam bidang transportasi. Pembangunan perkerasan jalan secara umum terdiri atas perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Jenis perkerasan ini sendiri merupakan jenis perkerasan yang kedap air sehingga dapat menyebabkan berkurangnya lahan hijau sebagai lahan resapan air (Sukirman, 1999). Genangan air di jalan dapat terjadi karena lapis perkerasan jalan yang kedap air sehingga bisa menyebabkan banjir. Apabila keadaan ini terus terjadi maka dapat berpengaruh pada lapisan-lapisan perkerasan jalan yang ada dibawahnya sehingga menyebabkan perkerasan jalan menjadi rapuh. Oleh karena itu, banyak dilakukan penelitian untuk mencari solusi dari permasalahan ini dan salah satunya adalah penggunaan aspal geopori (Li, Y., *et al.* 2020).

Aspal geopori merupakan aspal *geopolymer porous* atau aspal geopolimer yang memiliki pori/rongga (Hermansyah dan Widiansyah, 2022; Sari, 2021). Pori yang dimaksud dalam geopori inilah yang memungkinkan air pada permukaan dapat terserap kedalam tanah yang dialirkan secara sedikit demi sedikit karena teknologi ini dapat menjadi salah satu cara atau solusi dari meminimalisasi terjadinya banjir. Penggunaan aspal geopori pada lapis bahu jalan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi genangan air dimana genangan tersebut akan meresap melalui aspal geopori pada bahu jalan sehingga tidak akan merusak lapisan-lapisan perkerasan yang berada pada badan jalan karena air yang terserap melalui bahu jalan akan langsung terserap kelapisan tanah yang ada dibawahnya tanpa mengubah karakteristik dari perkerasan jalan itu sendiri, yaitu kedap air (Savira, 2022; Sari, 2021; Yuanda dan Gani, 2021; Davidovits, 1999).

Aspal geopori menjadi alternatif aspal yang ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah, yaitu limbah *fly ash* dan abu sekam padi yang sudah tidak terpakai dan pengaplikasiannya dapat menambah daerah resapan air. Dalam penelitian ini *fly ash* dan abu

sekam padi akan menjadi bahan campuran dalam pembuatan aspal geopori sebagai pengganti *filler*, serta aspal geopori ini menggunakan gradasi terbuka.

*Fly ash* adalah abu terbang sisa hasil pembakaran yang dapat digunakan dalam pembuatan aspal geopori karena memiliki sifat pozzolan, yaitu sifat yang plastis dan mudah dibentuk tetapi akan mengeras pada saat mengering sehingga sifat ini baik untuk nilai stabilitas aspal geopori. *Fly ash* juga memiliki sifat *hydrophobic* sehingga dapat memberikan daya tahan yang lebih baik untuk perkerasan terhadap terjadinya kerusakan pada aspal. Penambahan *fly ash* ini diharapkan dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai karakteristik Marshall pada aspal (Hainin, 2012). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dapat memenuhi spesifikasi AAPA tahun 2004. Penggunaan campuran *fly ash* yang paling optimal adalah sebesar 2% (Yuanda, dkk., 2021).

Abu sekam padi adalah abu yang dihasilkan dari sisa pembakaran sekam padi yang memiliki kandungan silika (Si) dan karbon (C) yang tinggi. Kandungan silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dalam abu sekam padi bisa mencapai 80% - 90% setelah pirolisis lebih lanjut (Wanadri, A., 1999). Abu sekam padi dari hasil pembakaran dapat mengandung Si sebesar 95%. Karena kandungan Si yang tinggi inilah, abu sekam padi digolongkan sebagai salah satu bahan yang memiliki sifat *pozzolanic* yang baik.

Penelitian terhadap abu sekam sebagai material yang memiliki sifat seperti semen telah banyak dikembangkan di banyak negara. Penelitian-penelitian tersebut menyimpulkan bahwa abu sekam padi dapat menjadi bahan campur semen ataupun pengganti semen. Semula bahan yang bersifat *pozzolanic* ini hanya dikembangkan sebagai bahan pengisi/*filler* (Musbar, dkk., 2010). Penggunaan abu sekam padi pada campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) mendapatkan hasil yang baik untuk meningkatkan nilai stabilitas dan fleksibilitas pada aspal (Susanto, H.A, dkk., 2014).

## HIPOTESIS

Aspal geopori memiliki sifat mudah mengalirkan air permukaan sehingga air tidak tergenang pada permukaan jalan, dengan penambahan campuran fly ash dan abu sekam yang memiliki sifat *pozzolanic* sebagai filler pada aspal geopori maka dapat meningkatkan nilai permeabilitas aspal sehingga lebih mudah dalam penyerapan air.

## METODOLOGI

Penelitian terhadap pembuatan aspal geopori ini menggunakan material yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler*. Agregat kasar yang digunakan berupa splite 2-3 dan splite 1-2, agregat halus yang digunakan berupa pasir, aspal yang digunakan aspal dengan penetrasi 60/70, dan *filler* terdiri atas semen yang digunakan untuk pembuatan aspal normal serta *fly ash* (FA) dari sisa pembakaran batubara dari PT Tanjung Enim, sedangkan abu sekam padi (AS) yang digunakan diambil dari wilayah Pemulutan, Kecamatan Pemulutan, Kabupaten Ogan Komering Ilir.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian langsung dengan melakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan variabel untuk variasi kadar persentase campuran, yaitu 2% sebagai pengganti *filler*, di mana terdapat lima variasi kadar variasi campuran terhadap FA dan AS, yaitu FA(0%) : AS(100%); FA(25%) : AS(75%); FA(50%) : AS(50%); FA(75%) : AS(25%); FA(100%) : AS(0%).

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) persiapan alat dan material, (2) pengujian sifat fisik material, (3) pengecekan spesifikasi, (4) pembuatan *job mix formula*, (5) pembuatan benda uji aspal normal untuk Marshall Test, (6) penentuan kadar aspal optimum (KAO) untuk capuran pada benda uji variasi campuran *fly ash* dan abu sekam sebagai pengganti *filler*, (7) pembuatan benda uji aspal geopori dengan variasi kadar campuran *fly ash* dan abu sekam padi sebagai pengganti *filler*, (8) pengujian Marshall dan permeabilitas

(kecepatan aliran), dan (9) analisis data hasil pengujian untuk mendapatkan variasi kadar campuran optimum dalam pembuatan aspal geopori

## HASIL DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai sifat-sifat fisik agregat dan pengujian karakteristik aspal yang sesuai dengan spesifikasi SNI (Standar Internasional Indonesia) dari hasil-hasil pengujian yang dilakukan akan dapat diketahui rancangan komposisi campuran sebuah benda uji. Serangkaian pengujian yang telah dilakukan menunjukkan hasil-hasil yang didapatkan berupa pengujian sifat fisik agregat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

Jenis Pengujian	Hasil			Satuan
	Agregat Kasar 2-3	Agregat 1-2	Agregat Halus	
Analisis saringan	8,911	7,305	2,791	-
Berat jenis <i>bulk</i>	2,515	2,718	2,395	-
Berat jenis SSD	2,554	2,745	2,430	-
Berat jenis semu	2,616	2,794	2,481	-
Berat jenis efektif	2,656	2,756	2,438	-
Penyerapan air	1,528	0,999	1,461	%
Kadar air	1,359	0,210	14,548	%
Kadar lumpur	1,387	0,641	1,718	%
Bobot isi gembur	1,325	1,458	1,100	gr/cm <sup>3</sup>
Bobot isi padat	1,462	1,579	1,195	gr/cm <sup>3</sup>
Keausan agregat		15,9		%

Pengujian sifat fisik agregat yang sudah dilakukan mendapatkan hasil bahwa agregat kasar dan agregat halus yang sudah dilakukan memenuhi standar spesifikasi. Sementara itu, hasil pengujian sifat fisik Aspal dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis Aspal	1,009	-	≥1,0
Titik Lembek Aspal	49	°C	48-58
Penetrasi	63,6	mm	60-70
Daktilitas	148,2	cm	≥100

Berdasarkan hasil pengujian terhadap aspal yang digunakan, diketahui bahwa aspal memenuhi standar spesifikasi yang ditentukan. Pengujian Marshall terhadap benda uji standar dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan karakteristik campuran lainnya sehingga mendapatkan nilai KAO untuk pembuatan benda uji. Pada pengujian ini jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 15 buah dengan setiap variasi kadar aspal sebanyak 3 buah dan berat setiap benda uji tersebut  $\pm 1200$  gram dengan komposisi agregat seperti Gambar 1.

Hasil analisis saringan terhadap campuran agregat didapat bahwa agregat untuk gradasi rencana belum memenuhi standar karena terdapat dua saringan yang tidak

terlewati. Oleh karena itu, gradasi agregat yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji adalah gradasi agregat senjang atau gradasi terbuka, di mana hal tersebut masih bisa dilanjutkan karena masih dalam batas toleransi, di mana untuk aspal berpori memiliki toleransi agregat maksimal 3 saringan. (SNI 6388 : 2015).

Hasil rancangan agregat untuk pembuatan benda uji disajikan dalam Tabel 3. Sementara itu, rekapitulasi hasil pengujian Marshall untuk mendapatkan KAO dirangkum pada Tabel 4 dan Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari hasil pengujian Marshall, benda uji yang terdapat pada Gambar 2 diperoleh kesimpulan bahwa KAO adalah sebesar 4,6%.

**Tabel 3.** Hasil Rancangan Campuran Untuk Mendapatkan KAO

Material		Kadar Aspal Berat (gr)				
		3,6%	4,1%	4,6%	5,1%	5,6%
Agregat 2-3	45%	520,6	517,9	515,2	512,5	509,8
Agregat 1-2	36%	416,4	414,3	412,1	410,0	407,8
Pasir	17%	196,7	195,6	194,6	193,6	192,6
Filler	2%	23,1	23,0	22,9	22,8	22,7
Aspal	-	43,2	49,2	55,2	61,2	67,2
Total		1200	1200	1200	1200	1200

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall

untuk mendapatkan KAO dirangkum pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dan Koefisien Permeabilitas

Karakteristik Campuran	Sat	Kadar Aspal (%)				
		3,6%	4,1%	4,6%	5,1%	5,6%
Stabilitas	kg	745,80	836,42	913,8	840,1	823,62
Flow	mm	4,94	5,47	5,62	5,80	5,93
VIM	%	20,34	19,01	18,77	18,35	18,29
Marshall Quetient	kg/mm	150,96	152,91	162,54	144,84	138,89

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dan Hasil Uji Permeabilitas Aspal Geopori

Variasi Campuran *Filler* dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Hasil Uji Permeabilitas Aspal Geopori Variasi Campuran *Filler*

	Sat	Kadar Campuran <i>Fly Ash</i> dan Abu Sekam Padi (%)				
		FA 0% : AS 100%	FA 25% : AS 75%	FA 50% : AS 50%	FA 75% : AS 25%	FA 100% : AS 0%
		Stabilitas	kg	729,56	759,62	637,67
Flow	mm	5,37	6,47	7,97	8,17	8,31
VIM	%	20,86	18,79	19,10	19,35	19,95
Marshall Quetient	kg/mm	135,82	117,44	80,03	79,42	115,29
Permeabilitas	cm/det	0,447	0,141	0,273	0,283	0,406

## Analisis Campuran Aspal Geopori

Campuran untuk pengujian ini merupakan modifikasi kadar aspal optimum (KAO) yang telah diperoleh sebelumnya, yaitu sebesar 4,6% dengan substitusi variasi *filler*. Variasi *filler* yang digunakan adalah campuran antara kadar *fly ash* (FA) dan abu sekam (AS) terhadap kadar *filler* itu sendiri, yaitu sebesar 2%. Untuk variasi kadar campuran *filler* ini terdapat lima variasi, yaitu FA 0%:AS 100%, FA 25%:AS 75%, FA 50%:AS 50%; FA75%:AS 25%; dan FA 100%:AS 0%. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian dengan alat Marshall.

Semua variasi kadar campuran memenuhi spesifikasi stabilitas, yaitu 500 kg. Kenaikan yang cukup tinggi terjadi pada variasi campuran dengan kadar *fly ash* yang paling banyak, yaitu pada campuran 100% *fly ash* (0% abu sekam) sebagai pengganti *filler* yang memiliki nilai stabilitas sebesar 958,00 kg. Hal ini disebabkan *fly ash* yang memiliki sifat pozzolan sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas pada aspal geopori karena kenaikan pada nilai stabilitas menandakan bahwa benda uji menjadi lebih kuat sehingga dapat menerima beban secara maksimal. Hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa pencampuran *fly ash* dan abu sekam memiliki hasil yang baik terhadap nilai stabilitas yang dihasilkan.

Nilai *flow* pada pengujian ini yang memenuhi spesifikasi, yaitu pada campuran 100% abu sekam (0% *fly ash*) sebagai pengganti *filler*, di mana nilai *flow* yang didapat sebesar 5,37 mm. Untuk variasi kadar campuran 75% abu sekam (25% *fly ash*), 50% abu sekam (50% *fly ash*), 25% abu sekam (75% *fly ash*) dan 0% abu sekam (100% *fly ash*) tidak memenuhi spesifikasi persyaratan untuk nilai *flow* yang berkisar antara 2 mm – 6 mm. Hal ini terjadi karena adanya penambahan *fly ash* yang membuat *filler* aspal menjadi tebal lalu membuat benda uji bersifat plastis sehingga deformasi yang akan terjadi akan meningkat (Savira, dkk., 2022) dimana semakin tinggi kadar campuran untuk abu sekam nilai *flow* yang diperoleh juga akan mengalami penurunan.

Nilai VIM mengalami peningkatan pada variasi kadar campuran *fly ash* dan abu sekam sebagai pengganti *filler* (2%) dibandingkan dengan variasi campuran aspal normal, lalu terjadi penurunan pada saat *fly ash* dan abu

sekam dicampurkan. Akan tetapi, nilai VIM kembali mengalami peningkatan pada campuran 100% *fly ash* (0% abu sekam). Kenaikan nilai VIM paling tinggi terdapat dalam variasi campuran *filler* 100% abu sekam (0% *fly ash*), yaitu sebesar 20,86%, lalu pada saat *fly ash* dan abu sekam dicampurkan nilai VIM mengalami penurunan dan pada saat variasi kadar campuran *filler* 0% abu sekam (100% *fly ash*) nilai VIM kembali mengalami peningkatan walaupun masih tidak sebesar pada campuran 100% abu sekam sebagai pengganti *filler*. Semakin besar nilai VIM yang diperoleh menandakan bahwa semakin besar pula rongga yang terdapat dalam aspal geopori.

Analisis hasil pengujian Marshall variasi campuran terhadap Nilai Marshall Quotient dapat dilihat pada Gambar 5.

Dapat dilihat bahwa hubungan antara nilai Marshall Quotient (MQ) dengan variasi campuran *fly ash* dan abu sekam mengalami penurunan pada setiap variasi campuran yang ditambahkan *fly ash*, tetapi kembali meningkat pada variasi campuran 100% *fly ash* (0% abu sekam). Nilai MQ pada setiap variasi campuran masuk dalam spesifikasi dimana nilai MQ berdasarkan spesifikasi, yaitu maksimal 400 kg/mm. Kenaikan dan penurunan yang terjadi pada nilai MQ juga dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow* pada campuran.

Hasil pengujian ini menunjukkan hubungan antara pengaruh variasi kadar campuran *filler* dengan hasil nilai koefisien permeabilitas. Pada penambahan kadar *fly ash* dalam campuran membuat nilai koefisien permeabilitas menurun. Akan tetapi, pada saat penambahan kadar 100% *fly ash* (0% abu sekam) nilai koefisien permeabilitas kembali mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Penurunan nilai koefisien permeabilitas menandakan bahwa semakin lambat air yang dapat dialirkan melalui aspal geopori. Pengujian yang dilakukan pada benda uji menunjukkan bahwa variasi kadar campuran *filler* 0% *fly ash* (100% abu sekam) memiliki nilai koefisien permeabilitas paling tinggi, yaitu 0,447 cm/det.

Pencampuran antara *fly ash* dan abu sekam memiliki pengaruh terhadap nilai parameter Marshall dan nilai permeabilitas. Akan tetapi, pencampuran yang paling optimal untuk memenuhi nilai parameter Marshall dan standar untuk nilai koefisien permeabilitas

adalah dengan penambahan 100% abu sekam (0% fly ash) sebagai pengganti *filler* (2%). Semakin tinggi kadar abu sekam membuat aspal geopori memperoleh nilai stabilitas yang cukup tinggi, tanpa meningkatkan nilai flow yang dapat menyebabkan sifat aspal menjadi semakin plastis, nilai VIM yang tidak mengalami penurunan. Akibatnya, rongga yang tercipta semakin besar, yang mengakibatkan air menjadi lebih mudah dialirkan dan mengurangi kelekatan antara agregat dan aspal. Nilai Marshall Quotient yang diperoleh juga menjadi tinggi karena kenaikan pada nilai ini dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan nilai *flow*, serta nilai koefisien permeabilitas.

## PEMBAHASAN

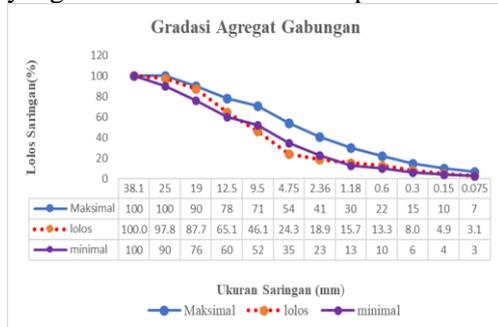
Analisis grafik mengenai parameter nilai Marshall terhadap variasi kadar campuran *filler* sebesar 2% dengan campuran *fly ash* dan abu sekam untuk aspal geopori menggunakan aspal penetrasi 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa untuk penambahan kadar *fly ash* dalam jumlah yang banyak dapat membantu meningkatkan nilai stabilitas sehingga membuat aspal geopori memiliki kekuatan yang lebih tinggi karena sifat *fly ash* yang pozzolan serta kandungan sifat kimia di dalam *fly ash* yang apabila ditambahkan pada aspal akan menimbulkan reaksi yang dapat membuat aspal menjadi lebih keras dan kaku sehingga berpengaruh pada nilai stabilitas (Arjuna, *et al.*, 2001; Hainin, 2012; Indrayani, dkk., 2019; Sulianti, 2021). Akan tetapi, dengan penambahan kadar *fly ash* dalam jumlah tinggi juga dapat membuat nilai *flow* semakin tinggi yang dapat menyebabkan aspal geopori menjadi lebih plastis sehingga menyebabkan besarnya deformasi yang akan terjadi. Hal ini bisa terjadi karena kandungan aspal yang digunakan cukup tinggi lalu ditambah dengan peningkatan kadar campuran *fly ash* yang membuat nilai *flow* semakin mengalami peningkatan (Wahyuningsih, 2007). Hal tersebut dapat menyebabkan *filler* aspal menjadi lebih tebal. Penambahan kadar *fly ash* yang tinggi juga dapat menyebabkan terjadinya penurunan pada nilai VIM sehingga pori di dalam aspal tertutup karena *fly ash* memiliki sifat yang *hydrophobic*, yaitu mudah mengikat aspal.

Penambahan kadar abu sekam dalam jumlah tinggi dapat membantu meningkatkan nilai stabilitas walaupun tidak sebesar dalam penambahan *fly ash*. Akan tetapi, variasi campuran dengan penambahan kadar abu sekam dalam jumlah yang tinggi tidak mempengaruhi nilai *flow* karena tingginya kandungan Silika di dalam abu sekam yang mengakibatkan agregat tidak mudah dilekati aspal sehingga *filler* aspal yang dihasilkan tidak terlalu tinggi dan tidak membuat aspal tersebut bersifat plastis.

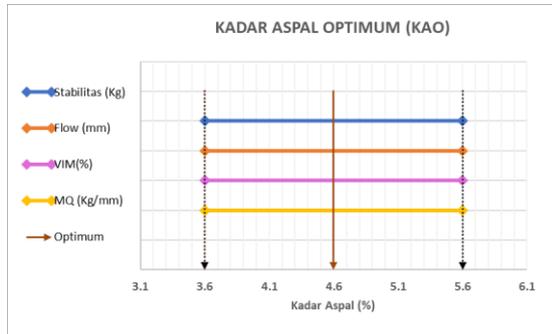
Penambahan abu sekam dalam jumlah yang tinggi tidak membuat nilai VIM mengalami penurunan sehingga tidak akan menutup pori yang terdapat didalam aspal geopori. Hal ini disebabkan oleh abu sekam yang bersifat *hydrophilic* karena tingginya kandungan Silika sehingga membuat agregat di dalamnya dengan mudah diresapi air serta film aspal yang dimiliki lebih tipis (Wahyuningsih, 2007). Ini dapat dilihat pada nilai *flow* yang dihasilkan pada campuran 100% abu sekam (0% *fly ash*), yaitu rendah karena rongga lebih banyak. Nilai koefisien permeabilitas pada saat ditambahkan *fly ash* juga mengalami penurunan karena apabila nilai koefisien permeabilitas mengalami penurunan maka waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir juga akan semakin lambat. Nilai koefisien permeabilitas yang dihasilkan tentunya berbanding lurus dengan nilai VIM yang diperoleh karena nilai kecepatan alir yang diperoleh pada saat pengujian. Permeabilitas dipengaruhi oleh besarnya rongga yang terbentuk oleh aspal geopori yang dapat dilihat dari besarnya nilai VIM terhadap variasi kadar campuran.

Pencampuran antara *fly ash* dan abu sekam memiliki pengaruh terhadap nilai parameter Marshall dan nilai permeabilitas. Akan tetapi, pencampuran yang paling optimal untuk memenuhi nilai parameter Marshall dan standar untuk nilai koefisien permeabilitas adalah dengan penambahan 100% abu sekam (0% *fly ash*) sebagai pengganti *filler* (2%) karena dengan semakin tinggi kadar abu sekam yang ada membuat aspal geopori memperoleh nilai stabilitas yang cukup tinggi, tanpa meningkatkan nilai *flow* yang dapat menyebabkan sifat aspal menjadi semakin plastis. Nilai VIM tidak mengalami penurunan sehingga membuat rongga yang tercipta semakin besar mengakibatkan air menjadi lebih

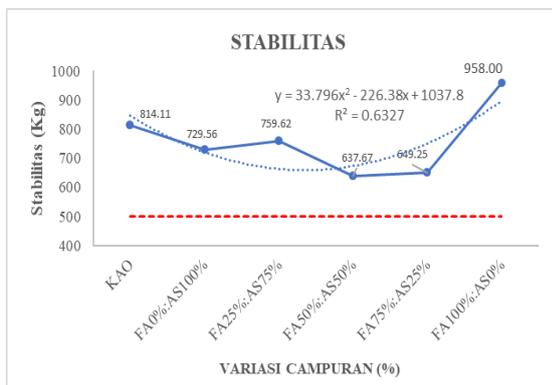
mudah dialirkan dan mengurangi kelekatan antara agregat dan aspal. Nilai Marshall Quotient yang diperoleh juga tinggi karena kenaikan pada nilai ini dipengaruhi oleh tinggi dan rendahnya nilai stabilitas dan nilai *flow*, serta nilai koefisien permeabilitas yang dihasilkan juga tinggi menyebabkan waktu yang dialirkan air semakin cepat.



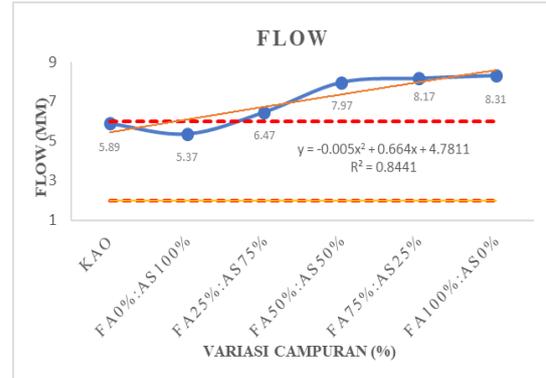
Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Gabungan



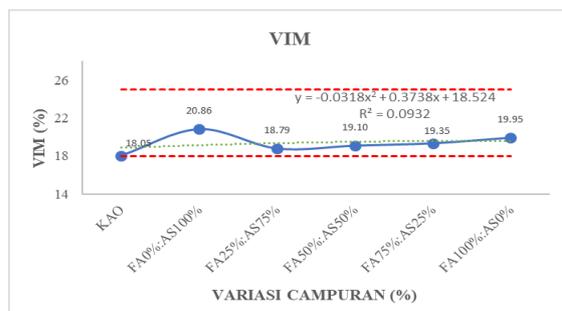
Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum



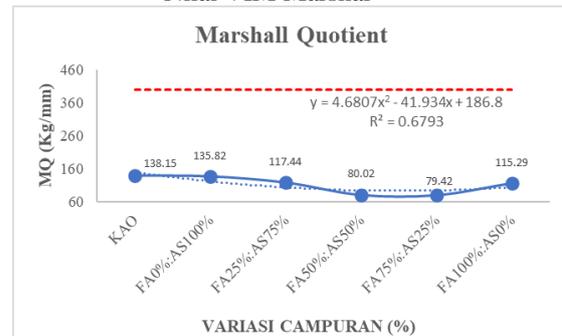
Gambar 3. Grafik Analisis Hasil Pengujian Marshall Variasi Campuran Filler Terhadap Nilai Stabilitas Marshall



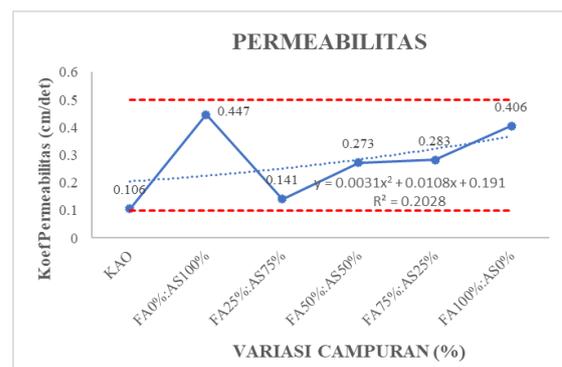
Gambar 4. Grafik Analisa Hasil Pengujian Marshall Variasi Campuran Terhadap Nilai Flow Marshall



Gambar 5. Grafik Hasil Analisis Pengujian Marshall Variasi Campuran Terhadap Nilai VIM Marshall



Gambar 6. Grafik Analisis Hasil Pengujian Marshall Variasi Campuran Terhadap Nilai Marshall Quotient



Gambar 7. Grafik Hasil Analisis Pengujian Permeabilitas Variasi Campuran

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian adalah penambahan kadar *fly ash* sebesar 100% dapat meningkatkan nilai stabilitas sehingga membuat aspal geopori memiliki kekuatan yang lebih tinggi hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan dengan penggunaan campuran FA (100%) dan AS (0%) mendapatkan nilai stabilitas sebesar 958,00 kg dibanding dengan aspal normal dengan nilai stabilitas sebesar 913,80 kg dengan kandungan kadar aspal sebesar 4,6% di kedua benda uji. Sementara itu, penambahan abu sekam dalam perbandingan campuran dari 0% sampai 100% penggunaan abu sekam tidak membuat nilai VIM mengalami penurunan. Didapat campuran yang paling optimal untuk memenuhi nilai parameter Marshall dan standar nilai koefisien permeabilitas adalah dengan penambahan 100% abu sekam (0% *fly ash*) sebagai pengganti *filler* (2%).

### Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di laboratorium, peneliti memberikan saran bahwa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi kadar campuran *fly ash* dan abu sekam sebagai pengganti *filler* terhadap campuran aspal geopori untuk diaplikasikan, baik pada lapis bahu jalan maupun perkerasan jalan serta perlu juga penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi atau alternatif campuran lainnya agar bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal dan stabil, terutama untuk nilai stabilitas yang berpengaruh pada kekuatan aspal geopori dalam menahan beban di atasnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan izin penggunaan Laboratorium Uji Bahan yang digunakan pada penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

Arjuna, P., Silsbee, M.L. & Roy, D.M. Chemical Activation Of Low Calcium Fly Ash. Part 1: Identification Of Suitable Activators And Their Dosage. 2001 *International Ash Utilization*

*Symposium*. University Of Kentucky : Center For Applied Energy Research.

- Davidovits, J. 1999, Chemistry of Geopolymer Sysem, Terminology. Paper Presented at the Geopolymer'99 *International Conference*. Saint- Quentin, France.
- Hainin, R., Niroumand, & Nazir. 2012. Fly Ash as a Sustainable and Waste Material. *Internasional Jurnal of Geotechnical Engineering*. Vol. 17 Th 2012.
- Hermansyah, Putra, B. W., & Widiensyah, O. W. 2022. Meningkatkan Nilai Rongga Stabilitas dan Flow Campuran Aspal HRS-WC Dengan Memanfaatkan Sekam Padi. *Jurnal Kacapuri*, <https://ojs.uniskabjm.ac.id/index.php/jurnalkacapuri/article/view/7562>
- Indrayani, Delvianty, Selmina, M., Herius, A., Noerdin, R. 2019. Fly ash Sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Litbangyasa Industri 2*, Vol. 2, No. 2, 56-62.
- Indrayani, Herius, A., Mirza, A., Ravsyah, A.R. 2021. Comparison of the Use of Fly ash dan Rice Husk Ash in the Making of Geopolymer Concrete. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1- T2-2020)*. Atlantis Highlights in Engineering, Vol. 7.
- Li, Y., et al. 2020. *Effect of water on asphalt pavement performance: A review*. *Construction and Building Materials*, 242, 118080.
- Musbar, Rizal, F., Mahyar, H., 2010. Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Campuran Beton Agropolymer. *Jurnal Portal*, Vol 2, No. 2, Politeknik Lhokseumawe.
- Sari. 2021. Uji Karakteristik Aspal Geopori dengan Penambahan Fly Ash PLTU Pangkalan Susu. *Jurnal Sipil Sain Terapan*, Vol 4, No. 2.
- Savira dkk. 2022. Studi Kinerja Fungsi Kekuatan dan Rembesan Aspal Porous dengan Penambahan Fly Ash. *Sipil Sains Terapan*, 5(1) <https://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/JSST/article/view/3609>

- Sulianti, I., Indrayani, Subrianto, A., Rahmadona, E., Yanti, O., Iryani, W.I. 2021. Analisis Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly ash dan Abu Sekam Padi. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 9, No. 2, pp 6370.
- Sukirman, Silvia. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Susanto, H.A., Indriyanti, E.W., Edison, B. 2014. Permeability Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) dengan Filler Abu Sekam Padi untuk Jalan Perkotaan. *Jurnal APTEK*, Vol 5, No. 1.
- Wahyuningsih, Lia. 2007. *Komparasi Penggunaan Filler Fly Ash (Abu Batubara), Filler Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash), dan Filler Abu Batu pada Kinerja Lapis Beton (LASTON)*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Jogjakarta.  
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/26359>
- Yuanda, G. P., Jaya, Z., & Gani, F. A. 2021. Uji Karakteristik Aspal Geopori Dengan Penambahan Fly Ash PLTU Pangkalan Susu. *Sipil Sains Terapan*, 4(2). <https://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/JSST/article/view/2606/0>.