

Pemanfaatan Fly Ash Batubara Kelas C Sebagai Filler Untuk Meningkatkan Kekuatan Aspal Beton Porus

Zairipan Jaya¹, Edi Majuar², Fauzi A. Gani³, Irham⁴, Gina Putri Yuanda⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Tekniknologi Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹ zairipanjaya@pnl.ac.id

Abstrak—Aspal beton porus merupakan campuran aspal beton bergradasi terbuka yang memiliki nilai kekuatan (*stabilitas*) yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat, sehingga penggunaannya terbatas untuk keperluan prasarana pendukung seperti lokasi parkir, trotoar, dan pedestrian. Untuk meningkatkan stabilitasnya, penggunaan fraksi halus termasuk bahan pengisi (*filler*) dalam campuran proporsi harus lebih banyak. Abu terbang (*fly ash*) batubara Kelas C merupakan salah satu material non organik dan non plastis yang dapat dimanfaatkan sebagai filler pada campuran aspal beton porus dan diharapkan akan mampu meningkatkan kekuatannya. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental, teknik pengambilan data dilakukan dengan pengamatan (*observasi*) langsung (*participant*) di Laboratorium Jalan Raya Politeknik Negeri Lhokseumawe. Bahan pengikat material agregat digunakan aspal penetrasi 60/70, material batu pecah diperoleh dari PT. Abad Jaya Krueng Geukuh Kota Lhokseumawe, dan material fly ash Kelas C diperoleh dari PLTU Pangkalan Susu Propinsi Sumatera Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan (*stabilitas*), nilai kelelahan plastis (*flow*), fleksibilitas (*marshall quotient/MQ*), dan rongga dalam campuran aspal porus (*void in mix*) benda uji aspal beton porus, serta mendapatkan nilai resapan berupa permeabilitas dan waktu pengaliran air. Hasil pengujian aspal beton porus pada kadar aspal optimum dengan menggunakan filler debu batu 3,3% sebagai pembanding, diperoleh nilai stabilitas 702 kg dan flow 3,08 mm, marshall quotient (MQ) 223,01 kg/mm, VIM 20,88%, permeabilitas 0,222 cm/det, dan waktu pengaliran air 5,61 det. Sedangkan hasil pengujian aspal beton porus dengan kadar aspal optimum dengan penggantian filler fly ash pada 5 variasi kadar filler fly ash yaitu 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%, diperoleh hasil terbaik pada penggunaan filler fly ash sebanyak 2% dari berat campuran, dengan nilai stabilitas 729 kg dan flow 3,10 mm, marshall quotient (MQ) 235,16 kg/mm, VIM 20,64%, permeabilitas 0,213 cm/det, dan waktu pengaliran air 6,02 det. Hasil penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh *Australian Asphalt pavement Association* (AAPA) Tahun 2004. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan filler fly ash batubara untuk menggantikan filler debu batu dapat meningkatkan kekuatan, flow, dan fleksibilitas dari campuran aspal beton porus. Akan tetapi sebaliknya, pemanfaatan filler fly ash batubara untuk menggantikan filler debu batu menurunkan nilai VIM, permeabilitas, waktu pengaliran aspal beton porus, atau dengan makna lain nilai fungsi kinerja kekuatan aspal beton porus berbanding terbalik dengan nilai fungsi kinerja resapan aspal beton porus.

Kata Kunci : Aspal Porus, Fly Ash, Stabilitas, Flow, Marshall Quotient, VIM, Permeabilitas, Waktu Pengaliran

Abstract—Porous concrete asphalt is a mixture of open graded concrete asphalt that has a lower strength (stability) value than concrete asphalt that uses tight gradation, so its use is limited for supporting infrastructure purposes such as parking locations, sidewalks, and pedestrians. To improve its stability, the use of fine fractions including fillers in the proportion mixture should be more. Fly ash (fly ash) Class C coal is one of the non-organic and non-plastic materials that can be used as fillers in porous concrete asphalt mixtures and is expected to be able to increase its strength. This research was conducted by experimental method, data retrieval technique is carried out by observation (observation) directly (participant) at Lhokseumawe State Polytechnic Highway Laboratory. The binding material of the aggregate material is used asphalt penetration 60/70, broken stone material obtained from PT. Abad Jaya Krueng Geukuh Lhokseumawe City, and Class C fly ash material is obtained from the Milk Base Power Plant of North Sumatra Province. This research aims to find out the value of the performance function of the strength of porous concrete asphalt test objects in the form of stability, plastic discharge value (flow), and flexibility / marshall quotient (MQ), and find out the value of the catchment performance function in the form of cavities in the porous asphalt mixture (void in mix), permeability, and water flow time using coal fly ash filler. The results of testing porous concrete asphalt at optimum asphalt content using 3.3% stone dust filler as a comparison, obtained stability value of 702 kg and flow of 3.08 mm, marshall quotient (MQ) 223.01 kg / mm, VIM 20.88%, permeability 0.222 cm / det, and water drainage time 5.61 det. While the results of testing porous concrete asphalt with optimum asphalt content with the replacement of fly ash fillers at 5 variations in fly ash filler levels are 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, and 4%, obtained the best results in the use of filler fly ash as much as 2% of the weight of the mixture, with a stability value of 729 kg and flow of 3.10 mm, marshall quotient (MQ) 235.16 kg / mm, VIM 20.64%, permeability 0.213 cm/det, and water drain time 6.02 det. The results of this study have met the specifications set by the Australian Asphalt pavement Association (AAPA) in 2004. The results of these tests show that the utilization of coal fly ash fillers to replace rock dust fillers can increase strength, flow, and flexibility in the of porous concrete asphalt mixture. However, on the contrary, the use of coal fly ash filler to replace stone dust filler decreases the value of VIM, permeability, time of flow of porous concrete asphalt, or by other meaning the value of the performance function of porous concrete asphalt strength is inversely proportional to the value of the performance function of porous concrete asphalt.

Keywords: Porus Asphalt, Fly Ash, Stability, Flow, Marshall Quotient, VIM, Permeability, Flow Time

I. PENDAHULUAN

Sifat lapisan permukaan perkerasan lentur yang kedap air (*impermeable*) dan fungsi kinerja drainase yang buruk

mengakibatkan terjadinya genangan air pada permukaan jalan, kondisi ini menyebabkan gangguan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Salah satu upaya perbaikan kondisi adalah menciptakan suatu jenis lapisan perkerasan

permukaan yang bersifat lolos air. Jenis lapisan perkerasan tersebut dikenal dengan nama aspal porus. Aspal beton porus merupakan campuran aspal beton bergradasi terbuka yang memiliki nilai kekuatan (*stabilitas*) yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat, sehingga penggunaannya terbatas untuk keperluan prasarana pendukung seperti lokasi parkir, trotoar, dan pedestrian, dan prasarana lalu lintas ringan lainnya. Untuk meningkatkan stabilitasnya, penggunaan fraksi halus termasuk bahan pengisi (*filler*) dalam campuran proporsi harus lebih banyak. Aspal porus adalah campuran aspal dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai pori-pori udara berkisar 20%. (Khalid & Jimenes, 1994), sedangkan Setyawan dkk, 2005, menyatakan aspal porus merupakan jenis perkerasan yang didisain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28-32%). Aspal porus umumnya memiliki nilai stabilitas yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat, stabilitas marshall akan meningkat bila gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus (Cabrerera dkk., 1991). Menurut Jauhari (2013), keuntungan penggunaan aspal porus antara lain dapat mengurangi *aquaplaning* apabila permukaan aspal basah akibat tingginya jumlah pori dalam aspal porus. Permukaan aspal porus sangat kasar dan kesat sehingga nilai tahanan geser (*skid resistance*) tinggi yang dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas berupa slipnya ban kendaraan di atas permukaan jalan. Aspal porus mampu meresapkan air pada arah vertikal dan horizontal dan mengalirkannya ke saluran samping jalan sehingga air tidak mempengaruhi lapisan pondasi base yang berada di bawahnya, serta dapat meredam kebisingan kendaraan 3-4 dB, dimana kebisingan tersebut diredam oleh pori-pori yang ada dalam aspal porus. Aspal porus merupakan aspal penyerap air yang memiliki daya serap sebesar 2000 liter/menit yang dirancang untuk menjadi lapisan penutup permukaan yang memungkinkan air merembes menuju lapisannya dibawahnya. Aspal porus tidak hanya mengatasi masalah genangan air, tetapi pada saat musim panas material aspal porus juga lebih dingin dan tidak sepanas aspal beton dengan campuran bergradasi rapat. Proses pembuatan aspal porus menggunakan campuran aspal panas dan campuran agregat dengan gradasi terbuka yang diharapkan menghasilkan banyak pori pada aspal.

Penggunaan bahan pengisi (*filler*) yang memiliki sifat pozzolan sangat bagus untuk menambah kekuatan (*stabilitas*) dari aspal porus tersebut. Abu terbang (*fly ash*) batubara Kelas C merupakan salah satu material non organik dan non plastis yang dapat dimanfaatkan sebagai filler pada campuran aspal beton porus. Jika bercampur dengan aspal, filler tersebut akan menjadi suspensi sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan aspal mengikat seluruh material agregat dalam campuran aspal. Fly ash ini mempunyai sifat pozzolanic dan kemampuan untuk mengeras dan menambah kekuatan (*strength*) apabila bereaksi dengan air (*self-cementing*).

Fly ash batubara merupakan abu hasil pembakaran batubara yang terbang ke udara yang di hasilkan oleh pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Fly ash ini merupakan material agregat berbutir halus yang lewat ayakan No. 200 (0,0075 mm), dan dapat digunakan sebagai salah satu material pembentuk aspal beton porus.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal 458 (3) fly ash dikeluarkan dari

kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga fly Ash cocok dijadikan substitusi pada agregat halus termasuk filler dan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi limbah yang mencemari lingkungan. Menurut ASTM C618 fly ash dibagi menjadi dua kelas yaitu fly ash kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua ash tersebut adalah banyaknya calcium, silika, aluminium dan kadar besi di ash tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan fly ash yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO. Yang penting diketahui, bahwa tidak semua fly ash dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi. Fly ash kelas F merupakan fly ash yang diproduksi dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous, mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen, fly ash kelas F ini kadar kapurnya rendah ($\text{CaO} < 10\%$), sedangkan fly ash kelas C diproduksi dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain mempunyai sifat pozzolanic juga mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur, biasanya mengandung kapur ($\text{CaO} > 20\%$). Fly ash kelas F dan kelas C keduanya dapat digunakan sebagai mineral filler untuk pengisi void dan memberikan kontak point antara partikel agregat yang lebih besar pada campuran aspal porus. Menurut the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), fly ash diklasifikasikan sebagai limbah "non-hazardous" dan fly ash tidak menyebabkan pencemaran pada air. Fly ash telah banyak digunakan di banyak negara dan tidak menyebabkan problem kesehatan pada masyarakat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas, flow, marshall quotient, VIM, permeabilitas, dan waktu pengaliran benda uji aspal beton porus, tanpa atau dengan penggantian filler fly ash.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian ekperimental dengan maksud merekayasa satu atau lebih variabel dengan suatu cara yang dapat mempengaruhi variabel tersebut. Keseluruhan pengumpulan data dilakukan dengan cara pengamatan langsung (*participant*) di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data utama yang dikumpulkan secara langsung melalui berbagai macam pengujian yang dilakukan dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian tersebut merupakan meliputi pengujian sifat fisis agregat berupa pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar, pengujian berat isi agregat, pengujian keausan agregat, pengujian kelekatan aspal terhadap agregat dan pengujian sifat fisis aspal yang meliputi pengujian berat jenis aspal, pengujian penetrasi aspal, pengujian titik lembek aspal.

Data sekunder adalah data pendukung yang diperlukan dalam penelitian seperti pemeriksaan angka koreksi benda uji, angka kalibrasi alat dan sebagainya. Data sekunder dapat diambil dari hasil penelitian sebelumnya yang masih berhubungan dengan penelitian tersebut.

Rancangan campuran agregat dilakukan untuk mencampurkan antara fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus, dan fraksi abu. Jika rancangan campuran agregat sudah sesuai dengan persyaratan maka di lanjutkan dengan rancangan untuk menentukan kadar aspal optimum. Variasi kadar aspal yang dicampur adalah 3,6%, 4,1%, 4,6%, 5,1% dan 5,6% terhadap berat total campuran. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 benda uji, sehingga jumlah benda uji adalah 15 buah. Berdasarkan data pengujian marshall dibuat grafik-grafik yang menyatakan hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshall dan variasi kadar aspal. Evaluasi dari grafik-grafik yaitu dengan mengaitkan persyaratan karakteristik campuran akan diperoleh karakteristik campuran aspal beton pada keadaan aspal optimum.

Setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka selanjutnya dibuat variasi persentase penggunaan *fly ash*. Variasi kadar *fly ash* yang dicampurkan adalah 2%-4%. Tiap variasi kadar *fly ash* dibuat 3 benda uji dan 3 benda uji tanpa menggunakan *fly ash*, sehingga jumlah benda uji adalah 18 buah. Kemudian dilakukan pengujian permeabilitas dan dilanjutkan dengan pengujian marshall.

Pengolahan data pada penelitian yang dilakukan di laboratorium adalah dengan membuat tabel dan grafik yang bantu dengan Microsoft Excel 2016. Pengelolahan data dilakukan untuk memperoleh data ringkasan dengan menggunakan cara atau rumus-rumus tertentu.

Analisa data yang digunakan untuk menunjukkan hubungan antara parameter marshall dan permeabilitas aspal porus digunakan analisa regresi. Analisa data yang digunakan dalam proses penginterpretasian hasil pengelolahan data adalah jenis analisis inferensial yaitu analisis yang menekankan hubungan antar variabel dengan menyimpulkan hasil penelitian. Pengelolaan Data dilakukan dengan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel 2016 dan SPSS V.24 dengan data berbentuk tabel dan grafik. Pengujian yang dilakukan dalam analisis linier regresi sederhana adalah uji koefisien regresi sederhana menggunakan alat analisis linier regresi (simple regrestion) dan t test.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

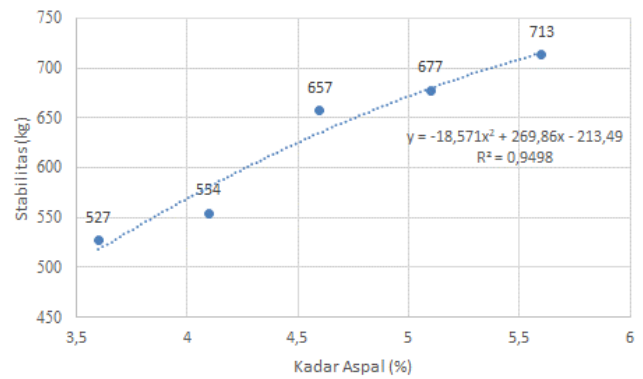
Pada benda uji dengan campuran agregat halus dan batu pecah ,nilai CA yang digunakan sebesar 84,9%, nilai FA 11,8%, serta filler debu batu sebanyak 3,3%, maka didapat kadar aspal ideal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler)+K \\
 &= 0,035 (84,9\%) + 0,045 (11,8\%) + 0,18 (3,3\%) +1 \\
 &= 4,6 \%
 \end{aligned}$$

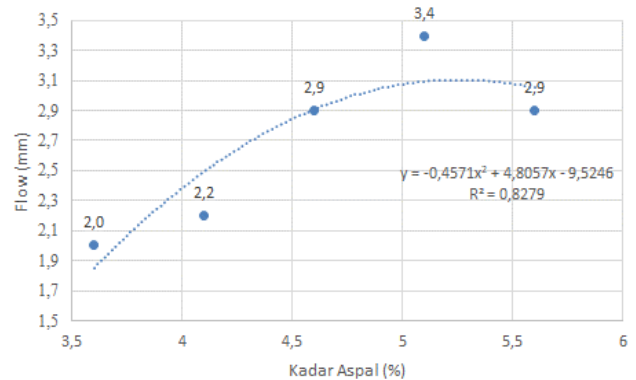
Hasil pengujian Marshall pada benda uji aspal beton porus dengan variasi kadar aspal (3,6%-5,6%) menggunakan filler debu batu, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh nilai parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Pengujian Parameter Marshall Benda Uji Porus untuk Mendapatkan KAO		Aspal Beton					Spesifikasi AAPA 2004
No	Parameter Marshall	Variasi Kadar Aspal (%)					
		3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	
1	Stabilitas (Kg)	527	554	657	677	713	Min.500
2	Flow (mm)	2	2,2	2,9	3,4	2,9	2-4
3	VIM (%)	23,5	23,0	21,7	21,0	20,7	18-25
4	MQ (kg/mm)	274,9	264,8	222,9	203,6	248,3	Maks.400

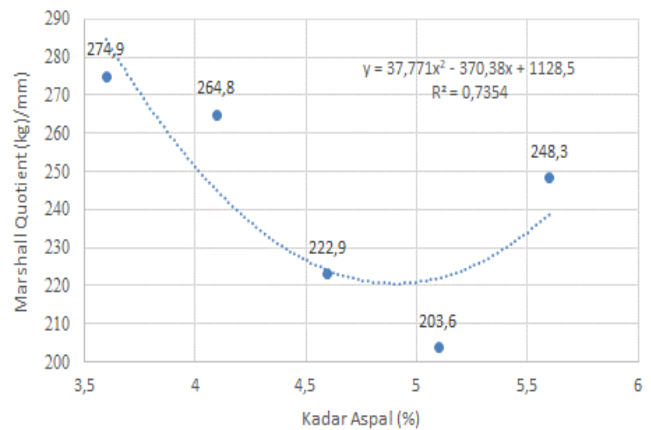
Hubungan kadar aspal dengan parameter marshall seperti diperlihatkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4.



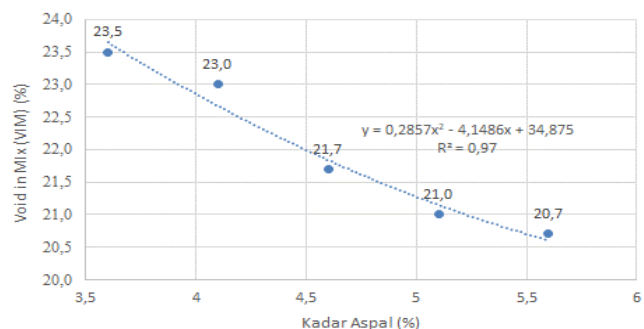
Gambar 1. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Flow



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Marshall Quotient (MQ)



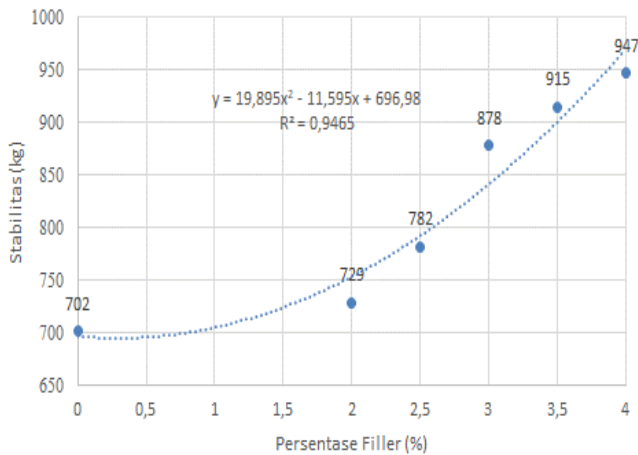
Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Void in Mix (VIM)

Berdasarkan grafik hubungan kadar aspal nilai parameter Marshall, didapatkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,1%. Hasil pengujian Marshall pada benda uji aspal beton porous dengan filler debu batu 3,3% (0% fly ash) dan dengan pergantian filler fly ash (2,0%-4,0%) pada KAO, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh nilai parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

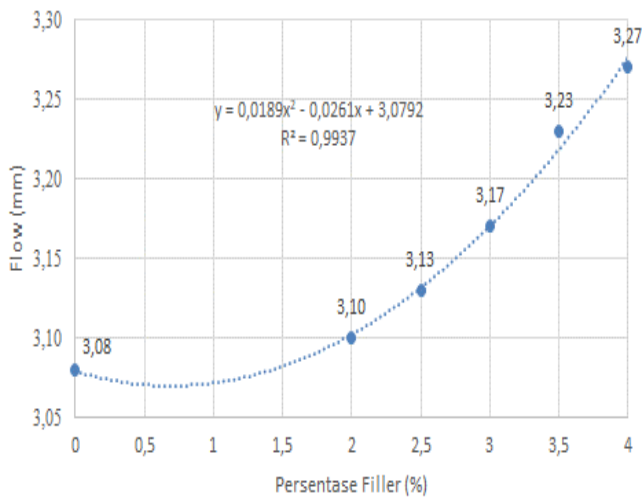
Tabel 2. Nilai Pengujian Parameter Marshall Benda Uji Aspal Beton Porus Dengan Penggunaan Filler Pada KAO

No	Persentase Filler Fly ash (%)	Stabilitas	Flow	VIM	MQ
1	0,0%	702	3,08	20,88	223,01
2	2,0%	729	3,10	20,64	239,15
3	2,5%	782	3,13	20,40	248,18
4	3,0%	878	3,17	20,34	276,28
5	3,5%	915	3,23	20,30	284,05
6	4,0%	947	3,27	20,18	294,84

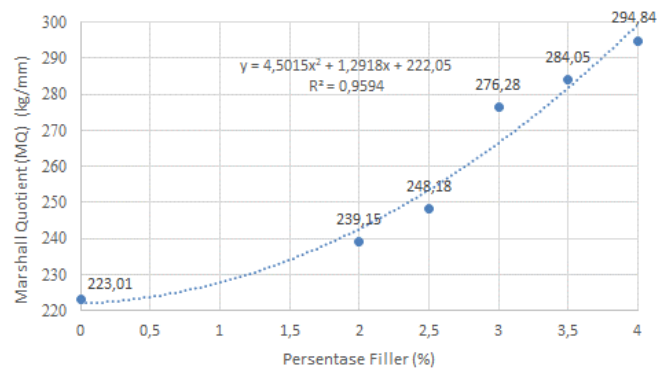
Hubungan persentase penggunaan filler fly ash dengan parameter marshall seperti diperlihatkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8.



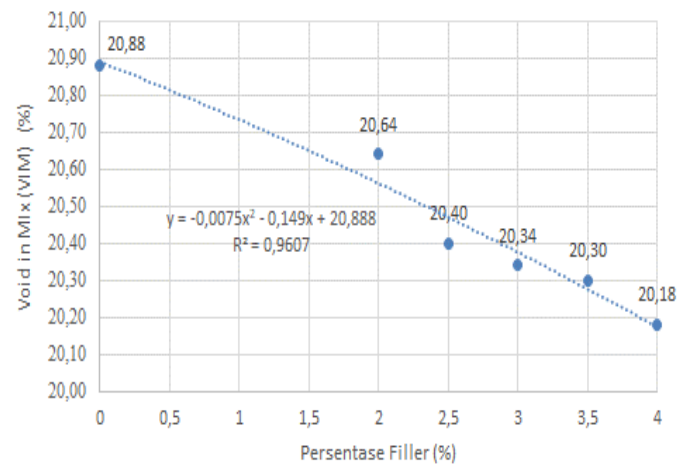
Gambar 5. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Nilai Stabilitas Menggunakan KAO 5,1%



Gambar 6. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Nilai Flow Menggunakan KAO 5,1%



Gambar 7. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Nilai MQ Menggunakan KAO 5,1%



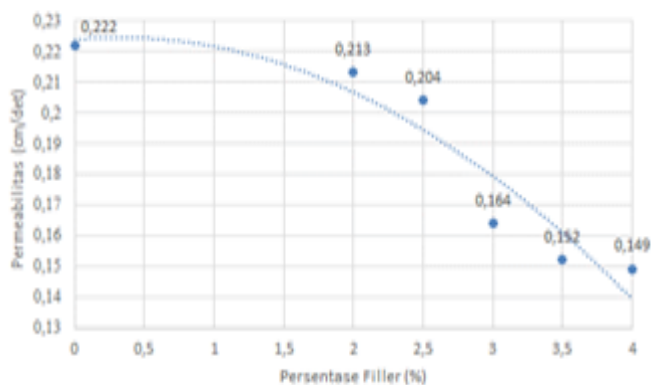
Gambar 8. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Nilai VIM Menggunakan KAO 5,1%

Hasil pengujian permeabilitas dengan menggunakan filler debu batu 3,3% (0% fly ash) dan dengan pergantian filler fly ash (2,0%-4,0%) pada KAO, diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Pengujian Permeabilitas Benda Uji Aspal Beton Porus Dengan Penggunaan Filler pada KAO

No	Persentase Filler Fly Ash (%)	Koefisien Permeabilitas (cm/s)	Spesifikasi AAPA 2004
1	0,0%	0,222	0,1-0,5 (cm/s)
2	2,0%	0,213	
3	2,5%	0,204	
4	3,0%	0,164	
5	3,5%	0,152	
6	4,0%	0,149	

Hubungan persentase penggunaan filler fly ash dengan Nilai Permeabilitas seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



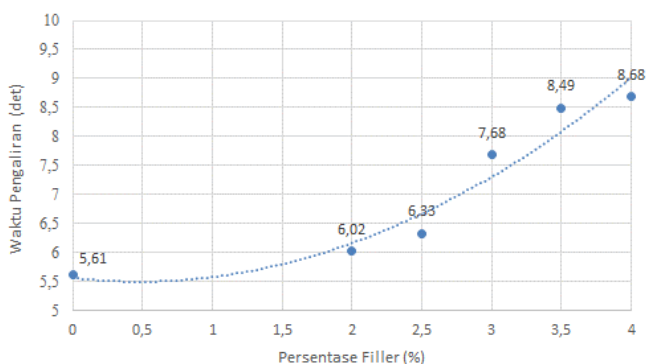
Gambar 9. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Nilai Permeabilitas Menggunakan KAO 5,1%

Hasil pengujian waktu pengaliran air secara vertikal benda uji dengan ketebalan rata-rata benda uji 6 cm, dengan menggunakan filler debu batu 3,3% (0% fly ash) dan dengan pergantian fly ash (2,0%-4,0%) pada KAO, diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Waktu Pengaliran Air Secara Vertikal Benda Uji Aspal Beton Porus Dengan Penggunaan Filler pada KAO

No	Persentase Fly Ash (%)	Waktu Pengaliran Air (det)
1	0,0%	5,61
2	2,0%	6,02
3	2,5%	6,33
4	3,0%	7,68
5	3,5%	8,49
6	4,0%	8,68

Hubungan persentase penggunaan filler fly ash dengan waktu pengaliran air secara vertikal seperti diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Persentase Filler dengan Waktu Pengaliran Secara Vertikal Menggunakan KAO 5,1%

Hasil pengujian parameter Marshall pada benda uji aspal beton porus dengan variasi kadar aspal (3,6%-5,6%) menggunakan filler debu batu 3,3%, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh nilai parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 1 dan divisualisasikan dengan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 4, menunjukkan bahwa nilai stabilitas aspal beton porus tertinggi dihasilkan dengan menggunakan kadar aspal 5,6%, sedangkan nilai flow dan MQ tertinggi dihasilkan dengan menggunakan kadar aspal

5,1%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang dapat digunakan dalam campuran aspal beton porus ini adalah 5,1% dari volume campuran. Penggunaan kadar aspal diatas 5,1% akan mengakibatkan turunnya nilai flow dan fleksibilitas dari campuran aspal beton porus.

Hasil pengujian Marshall pada benda uji aspal beton porus dengan filler debu batu 3,3% (0% fly ash) dan dengan pergantian filler fly ash (2,0%-4,0%) pada KAO, dengan tumbukan 2 x 50, diperoleh nilai parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 2, dan divisualisasikan dengan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8, menunjukkan bahwa nilai stabilitas, flow, dan MQ aspal beton porus terus meningkat sampai dengan penambahan filler fly ash sebanyak 4% dari volume campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan filler fly ash Kelas C yang mempunyai sifat pozolonic dan mengandung kapur (CaO) lebih besar dari 20% dapat mengeras dan mempunyai kemampuan untuk menambah kekuatan campuran aspal beton porus. sebaliknya nilai VIM, permeabilitas, dan waktu pengaliran air secara vertikal menunjukkan penurunan sampai dengan penggunaan fly ash 4%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan penggunaan kadar filler fly ash dalam campuran meningkatkan kekentalan aspal sehingga terjadi penebalan film aspal atau selimut aspal pada agregat, sehingga volume pori antar agregat semakin kecil, serta waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan dari permukaan menjadi lebih lama.

Dari hasil analisa regresi hubungan penggunaan filler fly ash 2%-4% dengan nilai stabilitas diperoleh nilai kolerasi (R) sebesar 0,9465. Hal ini mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (*fly ash*) terhadap variabel terikat (stabilitas) sangat kuat sesuai dengan pedoman. Dari tabel *coefficient* diperoleh nilai signifikasi sebesar $0,012 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh terhadap variabel stabilitas (Y). Berdasarkan nilai t diketahui nilai t_{hitung} sebesar $4,374 > 2,132$ maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly Ash* (X) berpengaruh positif terhadap stabilitas pada aspal porus.

Dari hasil analisa regresi hubungan penggunaan filler fly ash 2%-4% dengan nilai flow diperoleh nilai kolerasi (R) sebesar 0,9937. Hal ini yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (*fly ash*) terhadap variabel terikat (flow) sangat kuat sesuai dengan pedoman. Dari tabel *coefficient* diperoleh nilai signifikasi sebesar $0,018 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh terhadap variabel flow (Y). Berdasarkan nilai t diketahui nilai t_{hitung} sebesar $3,889 > 2,132$ maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly Ash* (X) berpengaruh positif terhadap flow pada aspal porus.

Dari hasil analisa regresi hubungan penggunaan filler fly ash 2%-4% dengan nilai MQ diperoleh nilai kolerasi (R) sebesar 0,9594. Hal ini yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (*fly ash*) terhadap variabel terikat (MQ) sangat kuat sesuai dengan pedoman. Dari tabel *coefficient* diperoleh nilai signifikasi sebesar $0,006 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh terhadap variabel MQ (Y). Berdasarkan nilai t diketahui nilai t_{hitung} sebesar $5,381 > 2,132$ maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly Ash* (X) berpengaruh positif terhadap MQ pada aspal porus.

Dari hasil analisa regresi hubungan penggunaan filler fly ash 2%-4% dengan nilai VIM diperoleh nilai kolerasi (R) sebesar 0,9607 yang mengandung pengertian bahwa pengaruh

variabel bebas (*fly ash*) terhadap variabel terikat (VIM) sangat kuat sesuai dengan pedoman. Dari tabel *coefficient* diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,001 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh terhadap variabel VIM (Y). Berdasarkan nilai t diketahui nilai t_{hitung} sebesar $-9,551 < 2,132$ maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly Ash* (X) berpengaruh negatif terhadap VIM pada aspal porus.

Dari hasil analisa regresi hubungan penggunaan filler fly ash 2%-4% dengan nilai permeabilitas diperoleh nilai kolerasi (R) sebesar 0,8991, yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (*fly ash*) terhadap variabel terikat (permeabilitas) sangat kuat sesuai dengan pedoman. Dari tabel *coefficient* diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,02 < 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh terhadap variabel permeabilitas (Y). Berdasarkan nilai t diketahui nilai t hitung sebesar $-3,768 < 2,132$ maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *fly ash* (X) berpengaruh negatif terhadap permeabilitas pada aspal porus.

IV. KESIMPULAN

Hasil uji parameter marshall dengan menggunakan filler fly ash Kelas C pada KAO berpengaruh dan dapat meningkatkan kekuatan (stabilitas), kelelahan plastis (flow), dan fleksibilitas (MQ) aspal beton porus yang menggunakan spesifikasi AAPA 2004 atau dengan kata lain terjadi peningkatan pada kinerja fungsi kekuatan aspal beton porus. Akan tetapi terjadi penurunan pada nilai VIM dengan penambahan persen fly ash yang semakin besar. Hasil uji permeabilitas dengan menggunakan filler fly ash Kelas C pada KAO berpengaruh pada penurunan kemampuan benda uji meloloskan air dari permukaan aspal, sehingga waktu pengaliran semakin lama. Persentase penggunaan filler terbaik adalah pada penggunaan filler 2% pada campuran aspal beton porus.

REFERENSI

- [1] AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, 2004. Open Graded Asphalt Design Guide, Australian.
- [2] Cabrera. 1991. "Analisis Limbah Batubara (Fly Ash) Sebagai Alternatif Semen Untuk Beton Pada Perisai Sinar Pencion Cobalt – 60 Ditinjau Dari Segi Biaya". *Extrapolasi Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya*.
- [3] Jauhari, Sri Nurul (2013), Karakteristik Marshall Test Pada Lapisan Perkerasan Aspal Berongga Menggunakan Batu Karang Dan Buton Natural Asphalt, Makasar: *Skripsi Teknik Sipil Universitas Hasanudin*. ICAM 2009, pp.263-280
- [4] Priyatno, D. (2010). *Paham Analisa Statistik Data Dengan SPSS*, Penerbit Mediakom Krasak Timur Yogyakarta.
- [5] Setyawan, dkk. (2005). Observasi Propertis Aspal Porus Berbagai Gradasi dengan Material Lokal. *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, 15-20.
- [6] Sarwono, D., & Wardhani, A. K. (2007). Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt. *Media Teknik Sipil*, 7(2), 131-138.
- [7] Khalid & Jimenes 2004. Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3).
- [8] Subono, V. P. 2011. Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete (AC) dengan Bahan Pengisi (Filler) Abu Vulkanik Gunung Merapi. Tugas Akhir. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.