

## ANALISIS MARSHALL DAN CANTABRO LOSS DENGAN PENAMBAHAN FILLER BATU BATA MERAH

Brayen Okdevender<sup>a</sup>, Aditya Rizkiardi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fakultas Teknik, Untag Surabaya, 1432200124@Surel.untag-sby.ac.id

<sup>b</sup>Fakultas Teknik, Untag Surabaya, adityarizkiardi@untag-sby.ac.id

Submitted: 27-03-2018, Reviewed: 27-03-2018, Accepted 29-03-2018

<https://doi.org/10.47233/jsit.v2i3>

NOHP/WA : 081225480506

### Abstrak

Aspal porous merupakan jenis perkerasan yang memiliki kemampuan drainase tinggi sehingga mampu mengurangi genangan air dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Namun, penggunaan filler konvensional pada campuran aspal porous masih menghadapi keterbatasan dari aspek keberlanjutan dan pemanfaatan limbah konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif filler yang ramah lingkungan serta mampu memenuhi persyaratan teknis campuran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah bata merah tahan api sebagai filler pada campuran aspal porous berbasis aspal PG 70 terhadap nilai permeabilitas, karakteristik Marshall, Cantabro Loss, serta penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pengujian Marshall, Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD), dan permeabilitas pada beberapa variasi kombinasi filler bata merah dan kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filler bata merah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 dengan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 89,51% dan berat jenis rata-rata 2,62 gr/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil pengujian Marshall, Cantabro Loss, dan Asphalt Flow Down diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,0%. Pada kondisi KAO, nilai permeabilitas rata-rata berturut-turut sebesar 0,20 cm/detik, 0,11 cm/detik, 0,13 cm/detik, dan 0,20 cm/detik untuk masing-masing variasi filler. Nilai Cantabro Loss berkisar antara 12,56%–16,68%, masih berada di bawah batas maksimum AAPA 2004 sebesar 35%. Variasi terbaik diperoleh pada komposisi 0,5% bata merah dan 0,5% kapur dengan stabilitas 800 kg dan Marshall Quotient 487 kg/mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah bata merah berpotensi digunakan sebagai filler alternatif yang ramah lingkungan pada campuran aspal porous.

**Kata Kunci:** aspal porous, bata merah, Marshall, Cantabro Loss, KAO.

### Abstract

Porous asphalt is a pavement type with high drainage capability that can reduce water ponding, minimize hydroplaning risk, and improve road safety. Despite these advantages, the use of conventional fillers in porous asphalt mixtures still presents challenges related to sustainability and the limited utilization of construction waste materials. Therefore, environmentally friendly alternative fillers that can satisfy technical performance requirements are needed. This study aims to analyze the effect of refractory red brick waste as a filler material in PG 70 porous asphalt mixtures on permeability, Marshall characteristics, Cantabro Loss, and the determination of Optimum Asphalt Content (OAC). The research employed an experimental laboratory method involving Marshall testing, Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD), and permeability tests on several combinations of red brick waste and lime fillers. The results indicated that the red brick waste filler satisfied the 2018 Bina Marga specifications, with 89.51% passing the No. 200 sieve and an average specific gravity of 2.62 g/cm<sup>3</sup>. Based on the Marshall, Cantabro Loss, and Asphalt Flow Down analyses, the Optimum Asphalt Content (OAC) was determined to be 6.0%. At the OAC condition, the average permeability values obtained were 0.20 cm/s for 1% lime filler, 0.11 cm/s for the 0.25% red brick waste–0.75% lime mixture, 0.13 cm/s for the 0.5% red brick waste–0.5% lime mixture, and 0.20 cm/s for the 0.75% red brick waste–0.25% lime mixture. The Cantabro Loss values ranged from 12.56% to 16.68%, remaining below the maximum limit of 35% specified by AAPA 2004. The best performance was achieved by the mixture containing 0.5% red brick waste and 0.5% lime, producing a stability value of 800 kg and a Marshall Quotient of 487 kg/mm. These findings demonstrate that refractory red brick waste has significant potential as a sustainable and environmentally friendly alternative filler for porous asphalt mixtures.

**Keyword :** porous asphalt, red brick, Marshall, Cantabro Loss, OAC

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



### PENDAHULUAN

Perkerasan jalan beraspal memegang fungsi esensial dalam menunjang mobilitas dan keamanan transportasi. Salah satu isu fundamental pada perkerasan konvensional adalah akumulasi air akibat inefisiensi

sistem drainase[1], yang berpotensi mereduksi performa jalan dan memperbesar potensi insiden kecelakaan. Guna menanggulangi persoalan ini, dikembangkan formulasi aspal berpori yang dicirikan oleh porositas tinggi, memungkinkan drainase air yang efektif. Namun, campuran ini memiliki keterbatasan dalam hal daya tahan, khususnya resistansi terhadap degradasi butiran akibat aktivitas lalu lintas[2].

Sementara itu, residu konstruksi, seperti bata merah, belum dimanfaatkan secara maksimal dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Penggunaan limbah bata merah sebagai material pengisi (*filler*) pada campuran aspal porus menawarkan opsi solutif yang tidak semata-mata memperbaiki performa campuran, namun turut serta mendukung prinsip pembangunan lestari. Studi ini krusial karena menganalisis titik ekuilibrium antara performa mekanis dan kapabilitas drainase pada campuran aspal porus[3].

Penelitian ini mengkaji dampak adisi *filler* bata merah terhadap sifat-sifat campuran aspal porus, mencakup parameter *Marshall*, *Cantabro Loss* (CL), *Asphalt Flow Down* (AFD), *permeabilitas*, dan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Di samping itu, studi ini berupaya mengidentifikasi apakah pemanfaatan limbah bata merah mampu memenuhi standar teknis yang telah ditetapkan[4]. Serangkaian pengujian dilakukan, termasuk *Marshall* untuk mengukur stabilitas dan nilai alir (*flow*), *Cantabro Loss* untuk menilai resistansi terhadap abrasi, *Asphalt Flow Down* untuk mengevaluasi stabilitas campuran, dan *permeabilitas* untuk mengukur kapasitas drainase. Penetapan KAO didasarkan pada analisis komprehensif dari berbagai parameter tersebut, guna mencapai formulasi campuran yang paling efektif[5].

Perkerasan jalan beraspal memiliki peranan penting dalam menunjang mobilitas, konektivitas wilayah, serta keselamatan transportasi. Kinerja perkerasan yang baik diperlukan untuk menjaga kenyamanan pengguna jalan sekaligus mempertahankan umur layan konstruksi. Salah satu permasalahan yang sering dijumpai pada perkerasan konvensional adalah terbentuknya genangan air akibat sistem drainase permukaan yang kurang optimal [6]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas perkerasan melalui kerusakan struktural maupun fungsional, seperti berkurangnya kekesatan permukaan, meningkatnya risiko *hydroplaning*, serta mempercepat terjadinya deformasi dan kerusakan jalan.

Sebagai upaya mengatasi permasalahan drainase, dikembangkan campuran aspal porus yang memiliki karakteristik rongga udara tinggi sehingga memungkinkan air mengalir melalui lapisan perkerasan dengan lebih efektif. Penggunaan aspal porus mampu meningkatkan kapasitas drainase permukaan, mengurangi genangan, serta meningkatkan keselamatan pengguna jalan terutama pada kondisi curah hujan tinggi [7]. Meskipun demikian, tingginya kadar rongga pada campuran aspal porus juga menyebabkan berkurangnya kontak antar agregat, sehingga campuran cenderung memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap pelepasan butiran, abrasi, dan kerusakan akibat beban lalu lintas berulang.

Upaya peningkatan performa campuran aspal porus dapat dilakukan melalui modifikasi material penyusun, salah satunya pada penggunaan *filler*. *Filler* memiliki fungsi penting dalam campuran aspal karena berperan mengisi rongga antar agregat, meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat, serta memperbaiki stabilitas campuran [8]. Penggunaan material alternatif sebagai *filler* juga semakin berkembang sebagai bagian dari upaya penerapan konsep konstruksi berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah konstruksi.

Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah bata merah. Material ini dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar dari aktivitas konstruksi maupun sisa produksi industri bata, namun pemanfaatannya masih relatif terbatas sehingga berpotensi menimbulkan penumpukan limbah. Secara material, bata merah memiliki kandungan silika dan alumina yang cukup tinggi serta ukuran partikel halus yang memungkinkan penggunaannya sebagai bahan pengisi pada campuran aspal [9]. Pemanfaatan limbah bata merah sebagai *filler* tidak hanya berpotensi meningkatkan karakteristik mekanis campuran, tetapi juga dapat mengurangi penggunaan material konvensional dan mendukung prinsip *green construction*.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan *filler* alternatif seperti abu batu, abu bata merah, maupun limbah konstruksi lainnya pada campuran aspal konvensional [10]. Akan tetapi, penelitian mengenai pemanfaatan limbah bata merah sebagai *filler* pada campuran aspal porus, khususnya untuk memperoleh keseimbangan antara stabilitas campuran, ketahanan terhadap pelepasan agregat, serta kemampuan drainase, masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya *research gap* yang memerlukan investigasi lebih lanjut melalui pendekatan eksperimental laboratorium [11].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah bata merah sebagai *filler* pada campuran aspal porus menggunakan aspal PG 70 terhadap karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss* (CL), *Asphalt Flow Down* (AFD), *permeabilitas*, serta penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Penggunaan aspal PG 70 dipilih karena memiliki ketahanan deformasi yang lebih baik pada suhu tinggi dibandingkan aspal penetrasi konvensional, sehingga lebih sesuai untuk kondisi iklim tropis dan lalu lintas berat [12]. Pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi AAPA 2004 dan Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk memperoleh formulasi campuran yang mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan, durabilitas, dan kapasitas drainase. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif penggunaan limbah konstruksi

yang lebih bernilai guna sekaligus mendukung pengembangan campuran perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan limbah bata merah sebagai substitusi filler pada campuran aspal porus berbasis Aspal PG 70. Limbah bata merah yang digunakan berasal dari PT. Benteng Api Technic, Jl. Semeru No. 59 A, Desa Bambe, Kecamatan Driyorejo, Gresik, Jawa Timur. Berdasarkan data produksi, sekitar 5,63% dari total *output* sebesar 1 ton bata merah merupakan produk cacat yang tidak dapat digunakan dan akhirnya menjadi limbah. Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan tidak hanya mampu mengurangi volume limbah bata merah yang selama ini menumpuk, tetapi juga dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas campuran perkerasan jalan sebagai alternatif solusi yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan

## METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian menunjukkan tahapan penelitian yang diawali dengan studi literatur, persiapan alat, dan pengujian material penyusun campuran aspal porus. Material yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 kemudian digunakan untuk pembuatan campuran dan benda uji berdasarkan gradasi AAPA (2004). Selanjutnya dilakukan pengujian campuran untuk memperoleh nilai permeabilitas, Marshall, Cantabro Loss, dan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebagai parameter evaluasi kinerja aspal porus



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian  
(Sumber : Olahan Peneliti)

### 1. Pengujian Agregat

Uji agregat dilaksanakan guna memverifikasi bahwa kualitas material yang diaplikasikan dalam campuran aspal porus memenuhi kriteria teknis yang disyaratkan. Serangkaian pengujian ini mencakup beberapa indikator kunci. Analisis saringan diterapkan untuk mengidentifikasi distribusi ukuran partikel agregat, memastikan kesesuaian dengan gradasi terbuka yang menunjang permeabilitas. Uji berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk menetapkan karakteristik fisik agregat yang relevan dalam perhitungan proporsi campuran dan estimasi kebutuhan aspal.

Uji keausan (*Los Angeles Abrasion*) (SNI KEAUSAN) diaplikasikan untuk mengevaluasi resistansi agregat terhadap abrasi dan benturan, dengan demikian menjamin daya tahan campuran. Di samping itu, uji adhesi agregat terhadap aspal dilaksanakan untuk memastikan ikatan yang optimal dan mencegah fenomena pelepasan butiran akibat paparan air.

## 2. Pengujian Filler

Uji filler bata merah dilaksanakan untuk menilai kesesuaian limbah bata merah sebagai material pengisi (filler) dalam formulasi aspal porus. Material pengisi yang diaplikasikan harus berukuran sangat halus dan memiliki kapabilitas untuk mengisi celah antar agregat, sehingga berkontribusi pada peningkatan stabilitas campuran.

Pengujian yang diterapkan mencakup analisis saringan guna memastikan partikel filler dapat melewati saringan halus (umumnya No. 200), sesuai dengan kriteria material pengisi. Di samping itu, observasi terhadap karakteristik fisik filler, seperti tekstur dan tingkat kehalusan, turut dilakukan karena faktor-faktor ini memengaruhi potensi ikatan filler dengan aspal.

Filler bata merah diimplementasikan sebagai salah satu variasi campuran untuk komparasi dengan filler tradisional. Temuan pengujian mengindikasikan bahwa filler bata merah memiliki karakteristik yang memenuhi standar dan efektif dalam mengoptimalkan performa campuran, terutama pada aspek stabilitas dan resistansi terhadap pelepasan butiran.

## 3. Pengujian Aspal PG 70

Uji aspal PG 70 dilaksanakan guna memastikan bahwa aspal yang diaplikasikan memiliki karakteristik sesuai dengan spesifikasi dan sanggup memberikan performa optimal pada campuran aspal porus. Aspal PG 70 tergolong dalam klasifikasi *Performance Grade*, didesain untuk menahan temperatur tinggi hingga sekitar 70°C, menjadikannya sesuai untuk kondisi lalu lintas dan lingkungan beriklim panas.

Beberapa uji fundamental yang diterapkan mencakup uji penetrasi untuk menentukan tingkat kekerasan aspal, titik lembek (*softening point*) untuk mengidentifikasi resistansi terhadap suhu tinggi, dan daktilitas untuk mengevaluasi kapasitas aspal dalam meregang tanpa mengalami fraktur.

## 4. Pembuatan Benda uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan guna mendapatkan spesimen campuran aspal porus yang akan dianalisis dalam pengujian laboratorium. Prosedur ini dimulai dengan persiapan agregat, filler bata merah, dan aspal PG 70 sesuai dengan proporsi yang telah ditetapkan. Agregat dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur pencampuran yang diinginkan; demikian pula aspal dipanaskan agar mencapai viskositas optimal untuk proses pencampuran.

Selanjutnya, agregat dan filler dicampur secara homogen, diikuti dengan penambahan aspal sesuai dengan variasi kadar aspal yang telah ditetapkan. Campuran diaduk secara menyeluruh hingga seluruh permukaan agregat terlapisi aspal secara merata. Kemudian, campuran dimasukkan ke dalam cetakan Marshall dan dipadatkan menggunakan perangkat pemadat sesuai dengan jumlah tumbukan yang telah ditentukan.

Spesimen uji yang telah dipadatkan kemudian didinginkan dan dikeluarkan dari cetakan. Selanjutnya, spesimen uji diukur berat, tinggi, dan karakteristik lainnya sebelum diaplikasikan dalam pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, *Asphalt Flow Down* (AFD) dan permeabilitas

## HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah bata merah tahan api yang digunakan sebagai filler telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018, dengan persentase lolos saringan No. 200 sebesar 89,51% dan berat jenis rata-rata 2,62 gr/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan pengujian *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down*, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,0%. Pada kondisi KAO, seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan AAPA 2004 dengan nilai *Cantabro Loss* berkisar antara 12,56%–16,68% (di bawah batas maksimum 35%). Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki nilai stabilitas di atas 500 kg, sehingga memenuhi spesifikasi aspal porus. Nilai stabilitas berturut-turut sebesar 820 kg (kapur 1%), 780 kg (0,25% bata merah : 0,75% kapur), 800 kg (0,5% : 0,5%), dan 752 kg (0,75% : 0,25%). Nilai Marshall Quotient (MQ) terbaik diperoleh pada variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur sebesar 487 kg/mm. Selain itu, nilai permeabilitas rata-rata yang diperoleh adalah 0,20 cm/detik, 0,11 cm/detik, 0,13 cm/detik, dan 0,20 cm/detik untuk masing-masing variasi filler.

### 1. Hasil Uji *Cantabro Loss* (CL) Untuk Penentuan KAO

Mengacu pada Tabel 2, hasil pengujian *Cantabro Loss* (CL) untuk penetapan Kadar Aspal Optimum (KAO) menunjukkan bahwa kadar aspal memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan campuran terhadap abrasi. Pada kadar aspal 4%, 4,5%, dan 5%, nilai rata-rata CL masih berada di atas batas maksimum 35% yang disyaratkan oleh AAPA 2004, sehingga campuran belum memenuhi spesifikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa jumlah aspal yang digunakan belum cukup untuk memberikan ikatan yang kuat antaragregat, sehingga butiran agregat lebih mudah terlepas akibat tumbukan dan gesekan selama pengujian.

Seiring dengan meningkatnya kadar aspal menjadi 5,5% dan 6%, nilai *Cantabro Loss* menurun hingga memenuhi persyaratan AAPA 2004. Penurunan nilai CL ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal

mampu meningkatkan daya ikat antaragregat dan memperkuat kohesi campuran. Aspal yang lebih banyak dapat melapisi permukaan agregat secara lebih merata, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya pelepasan agregat dan meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat abrasi. Dengan demikian, campuran menjadi lebih stabil dan memiliki durabilitas yang lebih baik.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara kadar aspal dan nilai Cantabro Loss, di mana semakin tinggi kadar aspal maka semakin rendah nilai kehilangan berat campuran. Oleh karena itu, penetapan KAO minimum dilakukan berdasarkan kadar aspal terendah yang telah memenuhi batas maksimum CL sebesar 35%. Nilai ini menjadi acuan dalam menentukan rentang kadar aspal optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara ketahanan terhadap abrasi, stabilitas campuran, dan kinerja perkerasan aspal porus secara keseluruhan.

Tabel 1. Hasil Uji CL untuk Penentuan KAO

| No | Kode Benda Uji      | Variasi Filler (Kapur) | Kondisi Benda Uji | Berat Awal (gram) | Berat Akhir (gram) | Kehilangan Berat (gram) | Cantabro Loss (%)               | Rata - Rata |
|----|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|
|    |                     |                        |                   | $W1$              | $W2$               | $W1-W2$                 | $\frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$ |             |
| 1  | Kadar Aspal : 4%    | 1%                     | Kering            | 1021,1            | 377,2              | 643,9                   | 63,06                           | 71,09       |
|    | Kadar Aspal : 4%    |                        |                   | 1087,1            | 212                | 875,1                   | 80,50                           |             |
|    | Kadar Aspal : 4%    |                        |                   | 1006,1            | 304,6              | 701,5                   | 69,72                           |             |
| 2  | Kadar Aspal : 4.5%  | 1%                     | Kering            | 1164              | 538,8              | 625,2                   | 53,71                           | 46,79       |
|    | Kadar Aspal : 4.5%  |                        |                   | 983,7             | 616,5              | 367,2                   | 37,33                           |             |
|    | Kadar Aspal : 4.5%  |                        |                   | 1065,6            | 540                | 525,6                   | 49,32                           |             |
| 3  | Kadar Aspal : 5%    | 1%                     | Kering            | 977,7             | 424,2              | 553,3                   | 56,59                           | 47,10       |
|    | Kadar Aspal : 5%    |                        |                   | 1040,1            | 745,9              | 294,2                   | 28,29                           |             |
|    | Kadar Aspal : 5%    |                        |                   | 1031,5            | 449,5              | 582                     | 56,42                           |             |
| 4  | Kadar Aspal : 5.5 % | 1%                     | Kering            | 1088,3            | 888,6              | 199,7                   | 18,35                           | 18,59       |
|    | Kadar Aspal : 5.5 % |                        |                   | 1015,7            | 809                | 206,7                   | 20,35                           |             |
|    | Kadar Aspal : 5.5 % |                        |                   | 1011,8            | 839,1              | 172,7                   | 17,07                           |             |



|   |                   |    |        |        |       |       |       |       |
|---|-------------------|----|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | Kadar Aspal : 6 % | 1% | Kering | 1085   | 959,9 | 125,1 | 11,53 | 23,86 |
|   | Kadar Aspal : 6 % |    |        | 1085,5 | 732,6 | 352,9 | 32,51 |       |
|   | Kadar Aspal : 6 % |    |        | 1026,2 | 743,7 | 282,5 | 27,53 |       |

(Sumber : Data Olahan Peneliti)

Pengujian Cantabro Loss pada campuran aspal porus dengan filler kapur 1% untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan spesifikasi AAPA 2004, yang mensyaratkan nilai Cantabro Loss maksimum 35%. Pengujian dilakukan pada variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan tiga benda uji untuk setiap variasi.

Pada kadar aspal 4%, diperoleh nilai Cantabro Loss rata-rata sebesar 35,05%, sehingga tidak memenuhi spesifikasi AAPA 2004 karena melebihi batas maksimum 35%. Tingginya kehilangan berat menunjukkan bahwa jumlah aspal belum cukup untuk mengikat agregat secara optimal, sehingga campuran lebih mudah mengalami pelepasan butiran.

Pada kadar aspal 4,5%, nilai Cantabro Loss rata-rata turun menjadi 30,27% dan telah memenuhi spesifikasi. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal meningkatkan daya ikat antara agregat dan aspal sehingga ketahanan terhadap pelepasan butiran menjadi lebih baik.

Seiring peningkatan kadar aspal menjadi 5%, 5,5%, dan 6%, nilai Cantabro Loss terus menurun masing-masing menjadi 26,96%, 22,03%, dan 18,75%. Tren penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, semakin kuat ikatan antar agregat sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap abrasi dan kehilangan material akibat tumbukan.

Berdasarkan hasil tersebut, seluruh variasi kadar aspal mulai dari 4,5% hingga 6% memenuhi persyaratan AAPA 2004. Nilai Cantabro Loss terendah diperoleh pada kadar aspal 6%, yaitu 18,75%, yang menunjukkan tingkat durabilitas terbaik. Oleh karena itu, hasil pengujian Cantabro Loss mengindikasikan bahwa kadar aspal 6% memberikan ketahanan pelepasan agregat yang paling baik dan menjadi salah satu dasar dalam penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada penelitian ini.

## 2. Hasil Uji Asphalt Flow Down (AFD) Untuk Penentuan KAO

Mengacu pada Tabel 3, hasil uji Asphalt Flow Down (AFD) untuk penetapan Kadar Aspal Optimum (KAO) menunjukkan nilai rata-rata untuk setiap kadar aspal. Pada kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, nilai rata-rata campuran memenuhi spesifikasi AAPA 2004, yang mensyaratkan nilai AFD kurang dari 0,3% . Ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar aspal berkorelasi dengan kecenderungan campuran untuk mengalami perpindahan atau "mengalir turun" dari agregat ketika berada dalam kondisi panas dan dalam posisi vertikal.

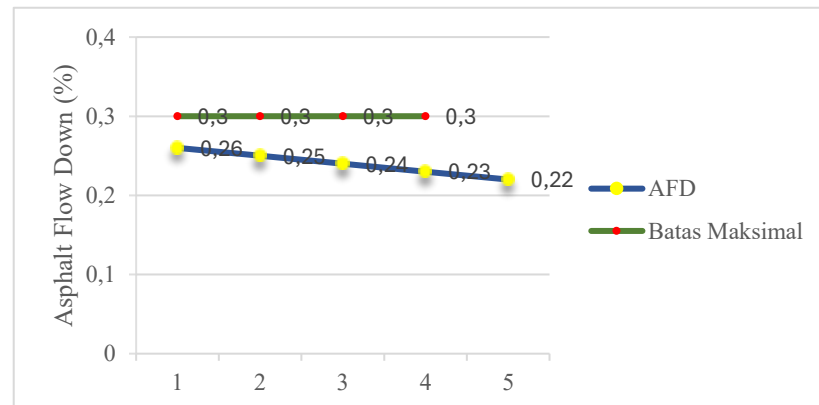
Tabel 2. Hasil Uji AFD untuk Penentuan KAO

| ASPHALT FLOW DOWN (KADAR ASPAL 4%) |             |        |                                 |        |       |       |       |           |          |
|------------------------------------|-------------|--------|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|-----------|----------|
| No                                 | Kadar Aspal | Filler | Keterangan                      | Notasi | I     | II    | III   | Satuan    | Memenuhi |
| 1                                  | 4%          | 1%     | Berat Nampan Kosong             | m1     | 359   | 359   | 359   | gr        |          |
| 2                                  |             |        | Berat Nampan + Campuran Aspal   | m2     | 1514  | 1528  | 1578  | gr        |          |
| 3                                  |             |        | Berat Nampan + Aspal Tertinggal | m3     | 361,8 | 362,1 | 362,4 | gr        |          |
| Perhitungan                        |             |        |                                 | Rumus  | I     | II    | III   | Rata-Rata |          |

|                       |             |        |                                 |                                      |        |        |        |           |          |
|-----------------------|-------------|--------|---------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|-----------|----------|
| Asphalt Flow Down (%) |             |        |                                 | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,2    | 0,3    | 0,3    | 0,26      | Memenuhi |
| No                    | Kadar Aspal | Filler | Keterangan                      | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    |          |
| 1                     | 4,5%        | 1%     | Berat Nampan Kosong             | m1                                   | 165    | 165    | 165    | gr        |          |
| 2                     |             |        | Berat Nampan + Campuran Aspal   | m2                                   | 1297   | 1328   | 1312   | gr        |          |
| 3                     |             |        | Berat Nampan + Aspal Tertinggal | m3                                   | 168,5  | 167,4  | 167,8  | gr        |          |
| Perhitungan           |             |        |                                 | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |          |
| Asphalt Flow Down (%) |             |        |                                 | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,3    | 0,2    | 0,2    | 0,25      |          |
| No                    | Kadar Aspal | Filler | Keterangan                      | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    | Memenuhi |
| 1                     | 5%          | 1%     | Berat Nampan Kosong             | m1                                   | 167    | 167    | 167    | gr        |          |
| 2                     |             |        | Berat Nampan + Campuran Aspal   | m2                                   | 1313   | 1328   | 1315   | gr        |          |
| 3                     |             |        | Berat Nampan + Aspal Tertinggal | m3                                   | 170    | 169,1  | 170,2  | gr        |          |
| Perhitungan           |             |        |                                 | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |          |
| Asphalt Flow Down (%) |             |        |                                 | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,3    | 0,2    | 0,3    | 0,24      |          |
| No                    | Kadar Aspal | Filler | Keterangan                      | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    | Memenuhi |
| 1                     | 5,5%        | 1%     | Berat Nampan Kosong             | m1                                   | 362    | 362    | 362    | gr        |          |
| 2                     |             |        | Berat Nampan + Campuran Aspal   | m2                                   | 1687,9 | 1656,4 | 1668,9 | gr        |          |
| 3                     |             |        | Berat Nampan + Aspal Tertinggal | m3                                   | 365,2  | 365,1  | 364,8  | gr        |          |
| Perhitungan           |             |        |                                 | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |          |
| Asphalt Flow Down (%) |             |        |                                 | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,23      |          |
| No                    | Kadar Aspal | Filler | Keterangan                      | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    | Memenuhi |
| 1                     | 6%          | 1%     | Berat Nampan Kosong             | m1                                   | 170    | 170    | 170    | gr        |          |
| 2                     |             |        | Berat Nampan + Campuran Aspal   | m2                                   | 1304   | 1311   | 1309   | gr        |          |
| 3                     |             |        | Berat Nampan + Aspal Tertinggal | m3                                   | 172,2  | 172,8  | 172,5  | gr        |          |
| Perhitungan           |             |        |                                 | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |          |

|                       |                                      |     |     |     |             |  |
|-----------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-------------|--|
| Asphalt Flow Down (%) | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | <b>0,22</b> |  |
|-----------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-------------|--|

(Sumber : Data Olahan Peneliti)



Grafik 1. Uji Asphalt Flow Down

(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian Asphalt Flow Down (AFD) pada kadar aspal 4%–6% dengan filler kapur 1%, diperoleh nilai rata-rata AFD berturut-turut sebesar 0,26%, 0,25%, 0,24%, 0,23%, dan 0,22%. Nilai AFD yang cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal menunjukkan bahwa campuran semakin mampu menahan aliran aspal, sehingga risiko terjadinya drain down semakin kecil. Nilai terendah diperoleh pada kadar aspal 6%, yang menunjukkan kinerja campuran terbaik dalam menahan aliran aspal.

### 3. Hasil Uji Marshall Pada Kondisi KAO

Tabel 4. menunjukkan hasil pengujian marshall pada kondisi KAO dengan Substitusi Filler Kapur : Filler bata merah (1% : 0%, 0.25% : 0.75%, 0.5% : 0.5%, 0.75% : 0.25%).

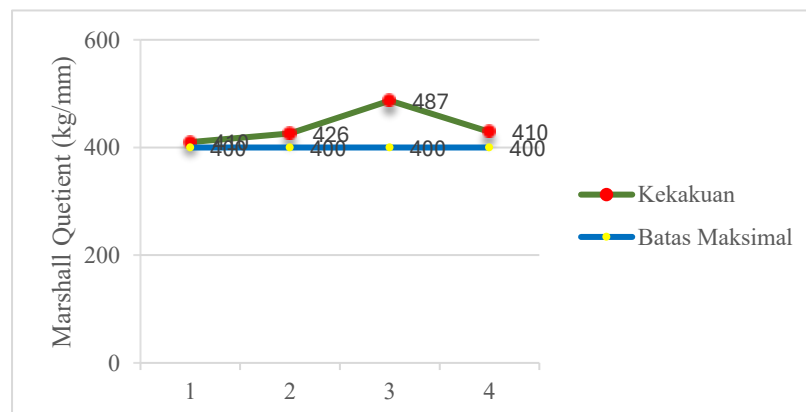
Tabel 3. Hasil Uji Marshall pada kondisi KAO

| SUBSTITUSI FILLER BATA MERAH 0.25% : 0.75% FILLER KAPUR |                          |                           |                  |                        |                   |                  |                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| Kode Briket                                             | Kadar Aspal              |                           | Stabilitas       |                        |                   | Pelelehan (Flow) | Hasil Bagi Marshall (MQ) |
|                                                         | % aspal terhadap agregat | % aspal terhadap campuran | Bacaan Pada Alat | Klaibrasi Proving Ring | Setelah dikoreksi |                  |                          |
|                                                         | %                        | %                         |                  | 32,15                  | kg                | mm               | kg/mm                    |
|                                                         | a                        | b                         | l                | m                      | n                 | o                | p                        |
| 1                                                       | 95                       | 6,0                       | 67               | 2154                   | 808               | 2,0              | 404                      |
| 2                                                       | 95                       | 6,0                       | 62               | 1993                   | 747               | 1,8              | 427                      |
| 3                                                       | 95                       | 6,0                       | 65               | 2090                   | 784               | 1,8              | 448                      |
| <b>Rata-Rata</b>                                        |                          | 6,0                       |                  |                        | <b>780</b>        | <b>1,8</b>       | <b>426</b>               |
| SUBSTITUSI FILLER BATA MERAH 0.5% : 0.5% FILLER KAPUR   |                          |                           |                  |                        |                   |                  |                          |
| Kode Briket                                             | Kadar Aspal              |                           | Stabilitas       |                        |                   | Pelelehan (Flow) | Hasil Bagi Marshall (MQ) |
|                                                         | % aspal terhadap agregat | % aspal terhadap campuran | Bacaan Pada Alat | Klaibrasi Proving Ring | Setelah dikoreksi |                  |                          |
|                                                         | %                        | %                         |                  | 32,15                  | kg                | mm               | kg/mm                    |



|                                                                | a                        | b                         | l                | m                      | n                 | o                | p                        |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| 1                                                              | 95                       | 6,0                       | 69               | 2218                   | 832               | 2,0              | 416                      |
| 2                                                              | 95                       | 6,0                       | 64               | 2058                   | 772               | 1,5              | 514                      |
| 3                                                              | 95                       | 6,0                       | 66               | 2122                   | 796               | 1,5              | 530                      |
| <b>Rata-Rata</b>                                               |                          | 6,0                       |                  |                        | <b>800</b>        | <b>1,7</b>       | <b>487</b>               |
| <b>SUBSTITUSI FILLER BATA MERAH 0.75% : 0.25% FILLER KAPUR</b> |                          |                           |                  |                        |                   |                  |                          |
| Kode Briket                                                    | Kadar Aspal              |                           | Stabilitas       |                        |                   | Pelelehan (Flow) | Hasil Bagi Marshall (MQ) |
|                                                                | % aspal terhadap agregat | % aspal terhadap campuran | Bacaan Pada Alat | Klaibrasi Proving Ring | Setelah dikoreksi |                  |                          |
|                                                                | %                        | %                         |                  | 32,15                  | kg                | mm               | kg/mm                    |
|                                                                | a                        | b                         | l                | m                      | n                 | o                | p                        |
| 1                                                              | 95                       | 6,0                       | 62               | 1993                   | 747               | 1,8              | 427                      |
| 2                                                              | 95                       | 6,0                       | 64               | 2058                   | 772               | 1,8              | 441                      |
| 3                                                              | 95                       | 6,0                       | 61               | 1961                   | 735               | 1,8              | 420                      |
| <b>Rata-Rata</b>                                               |                          | 6,0                       |                  |                        | <b>752</b>        | <b>1,8</b>       | <b>429</b>               |
| <b>SUBSTITUSI FILLER KAPUR 1% : 0% FILLER BATA MERAH</b>       |                          |                           |                  |                        |                   |                  |                          |
| Kode Briket                                                    | Kadar Aspal              |                           | Stabilitas       |                        |                   | Pelelehan (Flow) | Hasil Bagi Marshall (MQ) |
|                                                                | % aspal terhadap agregat | % aspal terhadap campuran | Bacaan Pada Alat | Klaibrasi Proving Ring | Setelah dikoreksi |                  |                          |
|                                                                | %                        | %                         |                  | 32,15                  | kg                | mm               | kg/mm                    |
|                                                                | a                        | b                         | l                | m                      | n                 | o                | p                        |
| 1                                                              | 95                       | 6,0                       | 68               | 2186                   | 820               | 1,8              | 468                      |
| 2                                                              | 95                       | 6,0                       | 67               | 2154                   | 808               | 2,0              | 404                      |
| 3                                                              | 95                       | 6,0                       | 69               | 2218                   | 832               | 2,0              | 416                      |
| <b>Rata-Rata</b>                                               |                          | 6,0                       |                  |                        | <b>820</b>        | <b>1,9</b>       | <b>410</b>               |
| <b>Persyaratan</b>                                             |                          |                           |                  |                        | <b>≥500</b>       |                  | <b>≤400</b>              |

(Sumber : Data Olahan Peneliti)



Grafik 2. Uji Marshall pada kondisi KAO  
(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

pengujian Marshall pada berbagai variasi filler bata merah dan kapur dengan kadar aspal optimum (KAO) 6%, seluruh campuran memenuhi persyaratan stabilitas minimum aspal porus. Nilai stabilitas rata-rata yang diperoleh berturut-turut adalah 818 kg untuk filler kapur 1%, 745 kg pada variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur, 487 kg pada variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur, 429 kg pada variasi 0,75% bata merah : 0,25% kapur, dan 429 kg pada filler bata merah 1%. Sementara itu, nilai Marshall Quotient (MQ) rata-rata berturut-turut sebesar 418 kg/mm, 436 kg/mm, 487 kg/mm, 429 kg/mm, dan 429 kg/mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah bata merah sebagai filler mempengaruhi karakteristik Marshall campuran, dengan variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur menghasilkan nilai MQ tertinggi sebesar 487 kg/mm, yang menunjukkan keseimbangan terbaik antara stabilitas dan fleksibilitas campuran. Stabilitas merupakan indikator kapabilitas campuran aspal untuk menahan beban atau tekanan tanpa mengalami kegagalan struktural. Nilai alir (flow) mengindikasikan besaran deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada campuran aspal saat terpapar beban. Marshall Quotient (MQ) adalah parameter yang merefleksikan rasio antara kekuatan campuran (stabilitas) dengan besaran deformasi (flow) yang diakibatkan oleh pembebanan.

#### 4. Hasil Uji Cantabro Loss (CL) Pada Kondisi KAO

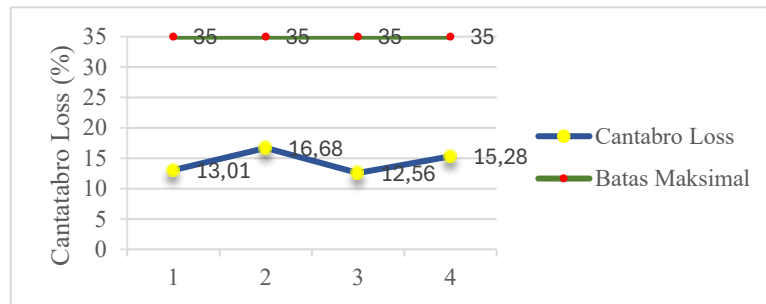
Merujuk pada hasil uji *Cantabro Loss* (CL) pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,0%, teridentifikasi bahwa seluruh variasi penggunaan filler tetap memenuhi batas maksimum kehilangan berat, yakni 35% sesuai dengan spesifikasi AAPA (2004).

Tabel 4. Hasil Uji CL pada kondisi KAO

| Kadar Aspal Optimum | Filler                     | Kondisi Benda Uji | Berat Awal (gram) | Berat Akhir (gram) | Kehilangan Berat (gram) | <i>Cantabro Loss</i> (%)          | Rata-Rata    |
|---------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|
|                     |                            |                   | $W1$              | $W2$               | $W1-W2$                 | $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$ |              |
| KAO 6%              | BM: KAPUR (0% : 0.1%)      | Kering            | 1012,4            | 867,9              | 144,5                   | 14,27                             | <b>15,10</b> |
|                     |                            |                   | 1049,3            | 882,2              | 167,1                   | 15,92                             |              |
|                     |                            |                   | 1030,9            | 875,1              | 155,8                   | 15,11                             |              |
| Kadar Aspal Optimum | Filler                     | Kondisi Benda Uji | Berat Awal (gram) | Berat Akhir (gram) | Kehilangan Berat (gram) | <i>Cantabro Loss</i> (%)          | Rata-Rata    |
|                     |                            |                   | $W1$              | $W2$               | $W1-W2$                 | $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$ |              |
| KAO 6%              | BM : KAPUR (0.25% : 0.75%) | Kering            | 1025,2            | 899,3              | 125,9                   | 12,28                             | <b>13,01</b> |
|                     |                            |                   | 1055,1            | 910,3              | 144,8                   | 13,72                             |              |
|                     |                            |                   | 1040,2            | 904,8              | 135,4                   | 13,01                             |              |
| Kadar Aspal Optimum | Filler                     | Kondisi Benda Uji | Berat Awal (gram) | Berat Akhir (gram) | Kehilangan Berat (gram) | <i>Cantabro Loss</i> (%)          | Rata-Rata    |
|                     |                            |                   | $W1$              | $W2$               | $W1-W2$                 | $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$ |              |
| KAO 6%              | BM : KAPUR (0.5% : 0.5%)   | Kering            | 1131,2            | 1007,9             | 123,3                   | 10,90                             | <b>16,68</b> |
|                     |                            |                   | 1031,1            | 797,6              | 233,5                   | 22,65                             |              |
|                     |                            |                   | 1081,2            | 902,75             | 178,4                   | 16,50                             |              |
| Kadar Aspal Optimum | Filler                     | Kondisi Benda Uji | Berat Awal (gram) | Berat Akhir (gram) | Kehilangan Berat (gram) | <i>Cantabro Loss</i> (%)          | Rata-Rata    |

|        |                                     |        | $W1$   | $W2$  | $W1-W2$ | $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100\%$ |              |
|--------|-------------------------------------|--------|--------|-------|---------|-----------------------------------|--------------|
| KAO 6% | BM :<br>KAPUR<br>(0.75% :<br>0.25%) | Kering | 1085,2 | 919,3 | 165,9   | 15,29                             | <b>12,56</b> |
|        |                                     |        | 1054,6 | 951,1 | 103,5   | 9,81                              |              |
|        |                                     |        | 1069,9 | 935,2 | 134,7   | 12,59                             |              |

(Sumber : Data Olahan Peneliti)



Grafik 3. Uji CL pada kondisi KAO

(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian Cantabro Loss pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) 6%, seluruh variasi filler memenuhi persyaratan AAPA 2004 karena memiliki nilai Cantabro Loss di bawah batas maksimum 35%. Pada variasi kapur 1% (0% bata merah : 1% kapur) diperoleh nilai Cantabro Loss rata-rata sebesar 15,10%, sedangkan pada variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur diperoleh nilai rata-rata 13,01%. Penurunan nilai Cantabro Loss tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah bata merah sebagai substitusi sebagian filler kapur mampu meningkatkan ketahanan campuran terhadap pelepasan butiran agregat akibat tumbukan. Semakin rendah nilai Cantabro Loss, semakin baik durabilitas campuran aspal porus. Dengan demikian, variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan filler kapur 1% karena menghasilkan kehilangan berat yang lebih kecil setelah pengujian.

Temuan ini mengindikasikan bahwa semua campuran menunjukkan resistansi yang baik terhadap kehilangan butiran, sehingga dapat diklasifikasikan memiliki daya tahan yang memadai untuk implementasi pada perkerasan aspal porus.

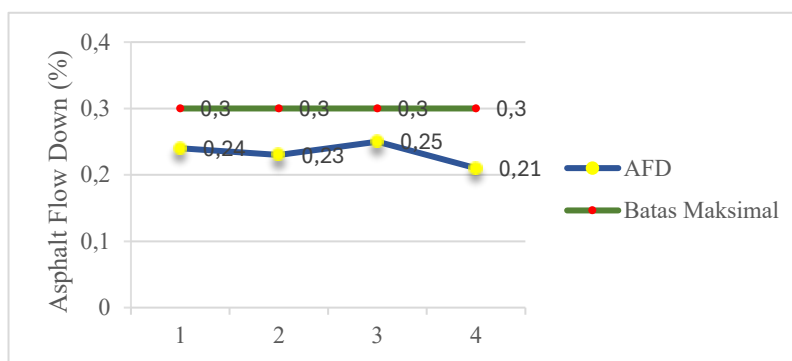
## 5. Hasil Uji Asphalt Flow Down (AFD) Pada Kondisi KAO

Tabel 5. Hasil Uji AFD pada kondisi KAO

| No                    | KAO  | Filler                       | Keterangan                               | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan        |
|-----------------------|------|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|
| 1                     | 6,0% | BM:<br>KAPUR<br>(0% :<br>1%) | Berat<br>Nampan<br>Kosong                | m1                                   | 154,3  | 154,3  | 154,3  | gr            |
| 2                     |      |                              | Berat<br>Nampan +<br>Campuran<br>Aspal   | m2                                   | 1296,3 | 1295,4 | 1294,6 | gr            |
| 3                     |      |                              | Berat<br>Nampan +<br>Aspal<br>Tertinggal | m3                                   | 156,2  | 157,8  | 157,1  | gr            |
| Perhitungan           |      |                              |                                          | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-<br>Rata |
| Asphalt Flow Down (%) |      |                              |                                          | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,2    | 0,3    | 0,2    | 0,24          |

| No                    | KAO  | Filler                              | Keterangan                               | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    |
|-----------------------|------|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|-----------|
| 1                     | 6,0% | BM :<br>KAPUR<br>(0.25% :<br>0.75%) | Berat<br>Nampan<br>Kosong                | m1                                   | 344,2  | 344,2  | 344,2  | gr        |
| 2                     |      |                                     | Berat<br>Nampan +<br>Campuran<br>Aspal   | m2                                   | 1486,4 | 1485,1 | 1487,2 | gr        |
| 3                     |      |                                     | Berat<br>Nampan +<br>Aspal<br>Tertinggal | m3                                   | 347,1  | 347,1  | 346,2  | gr        |
| Perhitungan           |      |                                     |                                          | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |
| Asphalt Flow Down (%) |      |                                     |                                          | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,3    | 0,3    | 0,2    | 0,23      |
| No                    | KAO  | Filler                              | Keterangan                               | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    |
| 1                     | 6,0% | BM:<br>KAPUR<br>(0.5% :<br>0.5%)    | Berat<br>Nampan<br>Kosong                | m1                                   | 157,6  | 157,6  | 157,6  | gr        |
| 2                     |      |                                     | Berat<br>Nampan +<br>Campuran<br>Aspal   | m2                                   | 1295,3 | 1285,1 | 1296,1 | gr        |
| 3                     |      |                                     | Berat Aspal<br>Tertinggal                | m3                                   | 161,2  | 159,8  | 160,2  | gr        |
| 6,0%                  |      |                                     |                                          | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |
| Asphalt Flow Down (%) |      |                                     |                                          | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,3    | 0,2    | 0,2    | 0,25      |
| No                    | KAO  | Filler                              | Keterangan                               | Notasi                               | I      | II     | III    | Satuan    |
| 1                     | 6,0% | BM:<br>KAPUR<br>(0.75% :<br>0.25%)  | Berat<br>Nampan<br>Kosong                | m1                                   | 157,6  | 157,6  | 157,6  | gr        |
| 2                     |      |                                     | Berat<br>Nampan +<br>Campuran<br>Aspal   | m2                                   | 1295,3 | 1285,1 | 1296,1 | gr        |
| 3                     |      |                                     | Berat Aspal<br>Tertinggal                | m3                                   | 159,8  | 159,8  | 160,2  | gr        |
| Perhitungan           |      |                                     |                                          | Rumus                                | I      | II     | III    | Rata-Rata |
| Asphalt Flow Down (%) |      |                                     |                                          | $\frac{m3 - m1}{m2 - m1} \times 100$ | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,21      |

(Sumber : Data Olahan Peneliti)



Grafik 4. Uji AFD pada kondisi KAO

(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

pengujian Asphalt Flow Down (AFD) pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) 6%, seluruh variasi filler menunjukkan nilai AFD yang rendah dan memenuhi persyaratan campuran aspal porus. Nilai rata-rata AFD yang diperoleh berturut-turut adalah 0,24% untuk filler kapur 1% (0% bata merah : 1% kapur), 0,23% untuk variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur, 0,25% untuk variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur, dan 0,21% untuk variasi 0,75% bata merah : 0,25% kapur. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh campuran memiliki kemampuan yang baik dalam menahan aliran aspal (drain down) selama proses pencampuran dan pemadatan. Nilai AFD terendah diperoleh pada variasi 0,75% bata merah : 0,25% kapur, yang mengindikasikan kemampuan terbaik dalam menahan aliran aspal, sedangkan nilai tertinggi sebesar 0,25% pada variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur masih berada dalam batas yang diizinkan. Secara keseluruhan, penambahan limbah bata merah sebagai filler tidak menyebabkan peningkatan drain down yang signifikan dan tetap menghasilkan campuran yang stabil.

## 6. Hasil Uji Permeabilitas Pada Kondisi KAO

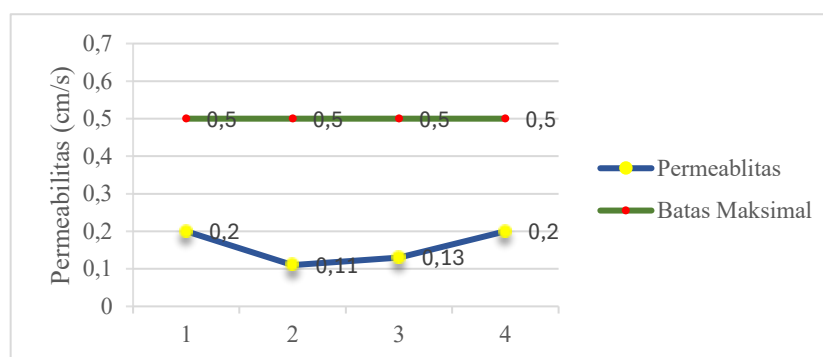
Uji permeabilitas pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) dilaksanakan untuk menilai kapabilitas campuran aspal porus dalam mengalirkan air melalui struktur pori-porinya. Uji ini dilakukan setelah spesimen mencapai kondisi stabil pada KAO, sehingga data yang dihasilkan dapat merepresentasikan performa campuran dalam kondisi desain.

Tabel 6. Hasil Uji Permeabilitas pada kondisi KAO

| No. Bend a Uji | Kadar Aspal Optimum | Variasi Kadar Filler                     | Volume Air<br>liter | Tinggi<br>cm | Waktu<br>detik | Permeabilitas<br>liter/detik | Rata-Rata<br>cm/detik |
|----------------|---------------------|------------------------------------------|---------------------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------------|
| 1              | 6,00%               | Kapur 1%                                 | 1                   | 7,57         | 19,82          | 0,19                         | 0,20                  |
| 2              |                     |                                          | 1                   | 7,01         | 18,36          | 0,21                         |                       |
| 3              |                     |                                          | 1                   | 7,29         | 19,09          | 0,20                         |                       |
| No. Bend a Uji | Kadar Aspal Optimum | Variasi Kadar Filler                     | Volume Air<br>liter | Tinggi<br>cm | Waktu<br>detik | Permeabilitas<br>cm/detik    | Rata-Rata<br>cm/detik |
| 1              | 6,00%               | 0.25% :<br>0.75% (bata merah :<br>kapur) | 1                   | 7,42         | 37,01          | 0,10                         | 0,11                  |
| 2              |                     |                                          | 1                   | 7,46         | 54,00          | 0,07                         |                       |
| 3              |                     |                                          | 1                   | 7,44         | 26,07          | 0,15                         |                       |
| No. Bend a Uji | Kadar Aspal Optimum | Variasi Kadar Filler                     | Volume Air<br>liter | Tinggi<br>cm | Waktu<br>detik | Permeabilitas<br>liter/detik | Rata-Rata<br>cm/detik |
| 1              | 6,00%               | 0.5% : 0.5%<br>(bata merah :<br>kapur)   | 1                   | 7,18         | 23,25          | 0,16                         | 0,13                  |
| 2              |                     |                                          | 1                   | 6,91         | 37,28          | 0,10                         |                       |
| 3              |                     |                                          | 1                   | 7,05         | 32,29          | 0,12                         |                       |

| No. Bend<br>a Uji | Kadar Aspal<br>Optimum | Variasi<br>Kadar <i>Filler</i>              | Volume<br>Air | Tinggi | Waktu | Permeabilitas | Rata-<br>Rata |
|-------------------|------------------------|---------------------------------------------|---------------|--------|-------|---------------|---------------|
|                   |                        |                                             | liter         | cm     | detik | liter/detik   | cm/detik      |
| 1                 | 6,00%                  | 0.75% :<br>0.25% (bata<br>merah :<br>kapur) | 1             | 7,2    | 24,22 | 0,16          | 0,20          |
| 2                 |                        |                                             | 1             | 7,2    | 14,29 | 0,27          |               |
| 3                 |                        |                                             | 1             | 7,2    | 22,26 | 0,17          |               |

(Sumber : Data Olahan Peneliti)



Grafik 5. Uji Permeabilitas pada kondisi KAO  
(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

pengujian permeabilitas pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) 6%, seluruh variasi filler menunjukkan kemampuan meloloskan air yang masih sesuai dengan karakteristik aspal porus. Nilai permeabilitas rata-rata yang diperoleh berturut-turut adalah 0,20 cm/detik pada filler kapur 1%, 0,11 cm/detik pada variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur, 0,13 cm/detik pada variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur, dan 0,20 cm/detik pada variasi 0,75% bata merah : 0,25% kapur. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah bata merah sebagai filler mempengaruhi kemampuan aliran air dalam campuran aspal porus. Nilai permeabilitas tertinggi diperoleh pada variasi kapur 1% dan 0,75% bata merah : 0,25% kapur sebesar 0,20 cm/detik, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi 0,25% bata merah : 0,75% kapur sebesar 0,11 cm/detik. Meskipun terjadi penurunan permeabilitas pada beberapa variasi, seluruh campuran masih mampu mengalirkan air dengan baik sehingga fungsi drainase aspal porus tetap terjaga. Selain itu, variasi 0,5% bata merah : 0,5% kapur menghasilkan nilai permeabilitas 0,13 cm/detik, yang menunjukkan keseimbangan antara kemampuan drainase dan karakteristik mekanis campuran, sehingga menjadi salah satu variasi yang memberikan kinerja paling optimal.

Spesifikasi AAPA (2004) tidak secara eksplisit mencantumkan batasan atau persyaratan spesifik mengenai nilai permeabilitas untuk campuran aspal porus. Oleh sebab itu, hasil uji permeabilitas dalam studi ini disajikan sebagai data pengukuran aktual tanpa perbandingan dengan nilai standar tertentu, sebagaimana tertera pada Tabel 6.

## PEMBAHASAN

Penambahan limbah bata merah tahan api mampu meningkatkan kinerja campuran aspal porus karena kandungan silika dan alumina pada bata merah membantu memperkuat ikatan antara aspal dan agregat. Nilai Cantabro Loss yang seluruhnya berada di bawah 35% menunjukkan bahwa campuran memiliki durabilitas yang baik terhadap pelepasan butiran agregat. Sementara itu, nilai permeabilitas yang masih relatif tinggi menunjukkan bahwa fungsi utama aspal porus sebagai lapisan drainase tetap terjaga. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa penggunaan serbuk atau abu bata merah sebagai filler dapat meningkatkan stabilitas Marshall dan tetap memenuhi spesifikasi perkerasan jalan. Penelitian oleh Sapitri (2025) dan Idayani & Syakir (2022) juga menemukan bahwa filler bata merah memberikan performa yang baik pada campuran aspal porus. Namun, penelitian ini memiliki keunggulan karena menggunakan aspal PG 70 dan limbah bata merah tahan api, serta mengevaluasi tidak hanya karakteristik Marshall tetapi juga Cantabro Loss dan permeabilitas. Dengan demikian, limbah bata merah tahan api berpotensi menjadi filler alternatif yang mendukung konsep *green construction*, mengurangi limbah industri, serta menghasilkan campuran aspal porus yang memenuhi persyaratan teknis.



## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,0%. Pada kadar aspal tersebut, seluruh variasi campuran memenuhi persyaratan AAPA 2004 dengan nilai Cantabro Loss sebesar 15,10% pada filler kapur 1%, 13,01% pada campuran 0,25% bata merah : 0,75% kapur, 12,56% pada campuran 0,5% bata merah : 0,5% kapur, dan 16,68% pada campuran 0,75% bata merah : 0,25% kapur. Nilai Asphalt Flow Down (AFD) yang diperoleh berturut-turut sebesar 0,24%, 0,23%, 0,25%, dan 0,21%, yang seluruhnya masih berada di bawah batas maksimum 0,3%. Selain itu, nilai permeabilitas rata-rata yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,20 cm/detik, 0,11 cm/detik, 0,13 cm/detik, dan 0,20 cm/detik, sehingga fungsi drainase pada campuran aspal porus tetap dapat dipertahankan.

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa nilai stabilitas rata-rata pada variasi filler kapur 1%, campuran 0,25% bata merah : 0,75% kapur, campuran 0,5% bata merah : 0,5% kapur, dan campuran 0,75% bata merah : 0,25% kapur berturut-turut sebesar 820 kg, 780 kg, 800 kg, dan 752 kg. Nilai Marshall Quotient (MQ) yang diperoleh masing-masing sebesar 410 kg/mm, 426 kg/mm, 487 kg/mm, dan 429 kg/mm. Berdasarkan seluruh parameter pengujian, campuran dengan komposisi 0,5% bata merah dan 0,5% kapur memberikan kinerja paling optimal, dengan nilai stabilitas 800 kg, nilai MQ 487 kg/mm, nilai Cantabro Loss 12,56%, dan permeabilitas 0,13 cm/detik. Dengan demikian, limbah bata merah tahan api dapat dimanfaatkan sebagai filler alternatif pada campuran aspal porus berbasis aspal PG 70, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah konstruksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan, A., Saves, F., & Safitri, D. A. (2025). Analisis kapasitas tampung saluran drainase existing terhadap debit banjir rencana (Studi kasus: Desa Medaeng, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Sains dan Teknologi (JSIT)*, 5(3), 462–472. <https://doi.org/10.47233/jsit.v5i3.3747>
- [2] Idayani, I., & Syakir, M. (2022). Pengaruh Penggunaan Abu Bata Merah Sebagai Filler Pada Aspal Porus Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Sains Riset*. <http://journal.unigha.ac.id/index.php/JSR/article/view/2354>.
- [3] Misbah, M., JF, A. P., Arman, A., Mulyati, M., & ... (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bata Merah Bukittinggi Sebagai Filler Pada Campuran Ac-Wc Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknologi Dan ...*. <https://jtv.itp.ac.id/index.php/jtv/article/view/43>
- [4] Sapitri, S. (2025). Pengaruh Substitusi Batu Bata Klinker Sebagai Agregat Kasar Dan Abu Batu Bata Sebagai Filler Pada Aspal Porus. *rama.unimal.ac.id*. <https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/9285/>.
- [5] Sumampouw, G. K. (2023). Penggunaan Limbah Bata Merah sebagai Substitusi Filler pada Campuran Aspal AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course). *repository.unifa.ac.id*. <https://repository.unifa.ac.id/id/eprint/1744/>
- [6] Toban, W. (2023). Pengaruh Penggunaan Limbah Abu Bata Ringan sebagai Pengganti Filler pada Campuran Aspal. *repository.unifa.ac.id*. <https://repository.unifa.ac.id/id/eprint/1671/>
- [7] Haryanto, D., Nugroho, A., & Prasetyo, B. (2021). Evaluasi Stabilitas Campuran Aspal Porus dengan Variasi Filler Mineral. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 7(2), 101–110. <https://doi.org/10.31289/jtsi.v7i2.2021>
- [8] Rahmawati, D., & Kurniawan, F. (2022). Pengaruh Material Limbah sebagai Filler pada Campuran Aspal Berpori terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 11(1), 44–53. <https://doi.org/10.26760/jrs.v11i1.2022>
- [9] Putra, R. A., & Hidayat, T. (2024). Evaluasi Durabilitas Campuran Aspal Porus dengan Variasi Material Filler. *Jurnal Infrastruktur Jalan*, 6(2), 88–97. <https://doi.org/10.37253/jij.v6i2.2024>
- [10] Hidayah, N., & Putra, Y. (2021). Studi Permeabilitas dan Stabilitas Aspal Porus terhadap Variasi Kadar Aspal. *Jurnal Teknik Transportasi*, 9(3), 120–129. <https://doi.org/10.31284/jtt.v9i3.2021>
- [11] Poerwodihardjo, F. E., & Hudoyo, C. P. (2024). Penggunaan Serbuk Batu Bata Merah Sebagai Filler Campuran Aspal AC-WC, Pengganti Semen dan Abu Batu dengan Marshall Test. *Briliant: Jurnal Riset Dan ...*. <http://jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant/article/view/1694>
- [12] Saudi, A. I., Okviani, N., & Nurfaizah, N. (2023). The Effect of Strength of Asphalt Mixes with The Addition of Brick Ash as a Replacement of Filler in AC-WC Mixture. *Journal of Civil Engineering and ...*. <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce/article/view/7752>
- [13] Wibowo, A., Widhiastuti, Y., & Tjandra, A. A. (n.d.). Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton Ac-Wc Terhadap.
- [14] ASTM-D6927 Metode Uji Standar untuk Stabilitas Marshall dan Aliran Campuran Aspal. (2015). American Society for Testing and Materials, i, 17. <https://doi.org/10.1520/D6927-15>
- [15] ASTM D6926-20 Praktik Standar untuk Persiapan Spesimen Campuran Aspal Menggunakan Peralatan Marshall. (2020). ASTM International, i, 8. <https://doi.org/10.1520/D6926-20.iTeh>
- [16] *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*. (2004). *Australian Asphalt Pavement Association: Guide to Pavement Technology – Part 4B: Asphalt*.
- [17] SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. (2008). Badan Standardisasi Nasional, 20.
- [18] SNI 1969:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. (2016). Badan Standardisasi Nasional, 20.
- [19] SNI-06-2434-1991. (1991). *Metode Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI-06-2434-1991)*.
- [20] SNI-06-2489-1991. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall (SNI-06-2489-1991)*.
- [21] SNI-2439-2011. (2011). *Cara uji penyelidikan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal Badan Standardisasi Nasional (SNI-2439-2011)*. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- [22] SNI 2432:2011 Cara Uji Penetrasi Aspal. (2011). Badan Standardisasi Nasional, 9–17.
- [23] SNI 2433: 2011 Cara Uji Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Cleveland Open Up. (2011). Badan Standardisasi Nasional, 1–18. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)