

STUDI PENGGUNAAN PECAHAN DINDING BANGUNAN PADA BETON ASPAL LAPIS AUS

Tan Lie Ing¹⁾, Yohanes Sebastian²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Jl. Prof. drg. Surya Sumantri No. 65, Bandung, Jawa Barat

²⁾ Alumni Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Jl. Prof. drg. Surya Sumantri No. 65, Bandung, Jawa Barat

Abstract

Pavement has become important to people mobility in Indonesia, especially in urban areas. Vehicle mobilization will experience less obstacles if the road pavement conditions are in good quality. At the moment, additives, fillers or road material substitutes are quite expensive and are limited, therefore, research needs to be carried out to find materials which can improve the quality of pavement such as increasing its resistance or stability and flow. The purpose of this study was to analyze the benefits of using wall fragments as the fillers in asphalt concrete wearing course. The effect of using wall fragments as a substitute for rock ash on the value of Marshall parameters is studied, as well as the various levels of wall fragments addition that can produce the greatest stability. In this study, four levels of wall fragments were used as fillers: 0%, 25%, 50% and 100%. Based on the results analysis, it was concluded that the use of wall fragments as fillers in asphalt concrete can increase the following parameters: VMA, VIM, stability, and flow, but it reduces the VFB value. In addition, the use of 25% levels of wall fragments in asphalt concrete produces the greatest stability value, which is 1622.47 kg.

Key Words: *Asphalt Concrete-Wearing Course, Marshall parameter, wall fragments*

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan dengan permukaan yang rata, tidak berlubang, cukup kaku, cukup kesat, dan tidak mengkilap akibat sinar matahari akan mendukung keamanan para pengguna lalu lintas. Dalam hal kekuatan struktural, perkerasan jalan harus memiliki ketebalan permukaan yang cukup, kedap terhadap air, mudah mengalirkan air dan memiliki kekakuan dan ketahanan atas beban lalu lintas tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk (Sukirman, 1999).

Penelitian selalu dilakukan untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan dan untuk menemukan bahan-bahan yang dapat digunakan untuk menjadi bahan tambah (*additive*), bahan pengisi (*filler*) atau bahan pengganti material jalan yang cukup mahal dan sifatnya terbatas di alam (Aldimus, 2012), Panjaitan (2017), Sitanggang & Bernard (2014), Azis (2017), Silaban (2019). Pemanfaatan material daur ulang telah banyak dikaji, seperti: pemanfaatan genteng yang didaur ulang sebagai agregat halus (Anandakhrisna, 2002), pemanfaatan tembok bata sisa bangunan sebagai agregat halus untuk pembuatan beton, menjadi agregat kasar pada beton (Kamil, 2002), pengaruh batu kapur sebagai bahan pengisi pada campuran laston lapis aus (Aldimus, 2012), pemanfaatan limbah bata merah sebagai

bahan pengisi pada beton aspal AC-WC (Azis, 2017). Masing-masing material sebagai bahan pengganti, bahan tambah atau bahan pengisi memiliki kekurangan dan kelebihan. Penelitian penggunaan limbah pecahan beton dan dinding sebagai agregat kasar dilakukan pada pembuatan beton normal.

Susunan lapisan perkerasan lentur dapat dibagi berdasarkan jenis tanah dasar, yaitu tanah dasar asli (*at grade*), tanah timbunan, dan tanah galian. Pada tanah dasar asli dan tanah galian, perbaikan dan penambahan lapis penopang dapat dilakukan jika tanah tersebut tidak memiliki kestabilan yang baik. Pada tanah jenis timbunan, timbunan dipadatkan pada nilai *California Bearing Ratio* (CBR) desain untuk memperoleh daya dukung tanah yang baik. Salah satu lapisan struktur perkerasan lentur berdasarkan jenis tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perkerasan lentur dengan permukaan tanah asli

Beton aspal, dikenal dengan istilah laston (*asphalt concrete*), adalah suatu jenis lapis permukaan pada konstruksi perkerasan lentur. Selain fungsinya yang digunakan sebagai lapis permukaan untuk menjaga ketahanan perkerasan dari cuaca, beban lalu lintas, dan kedap air, beton aspal juga digunakan sebagai lapis fondasi dan lapis pembentuk fondasi jika digunakan dalam rangka peningkatan mutu dan pemeliharaan perkerasan jalan. Beton aspal terdiri atas agregat dan aspal yang dicampur rata atau homogen pada temperatur tertentu. Beton aspal sering disebut sebagai “*hot mix*” atau campuran panas karena agregat dan aspal harus dipanaskan sebelum dicampur agar agregat dapat kering pada temperatur yang ideal dan aspal berada dalam kekentalan yang cukup.

Agregat merupakan material yang tersusun atas mineral padat berukuran besar atau serpihan, dan digunakan pada campuran lapis perkerasan jalan. Kandungan agregat pada campuran berdasarkan persentase berat adalah sebesar 90-95% dan berdasarkan persentase volume adalah 75-85%. Sifat dan hasil campuran agregat memengaruhi daya dukung, keawetan, dan mutu dari perkerasan jalan tersebut. Agregat kasar, agregat halus, dan abu batu (*mineral filler*) merupakan penggolongan agregat berdasarkan ukuran partikelnya. Suatu agregat digolongkan sebagai agregat kasar jika tertahan ayakan 4,75 mm menurut *American Standard Testing and Material* (ASTM) atau 2 mm menurut *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO). Suatu agregat digolongkan sebagai agregat halus jika agregat lolos ayakan 4,75 mm menurut ASTM atau berada di antara 0,075 mm dan 2 mm menurut AASHTO. Abu batu merupakan agregat lolos ayakan No.200.

Bahan pengisi berbentuk sangat halus dan lolos ayakan No.200 atau 0,075 mm. Contoh bahan pengisi adalah abu batu, abu kapur, semen (*Portland cement*) dan lain sebagainya. Bahan pengisi yang ditambahkan pada suatu campuran harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. Bahan pengisi dibutuhkan bersama agregat untuk membentuk gradasi yang disyaratkan dalam membuat campuran perkerasan jalan, khususnya untuk beton aspal lapis aus. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan pengisi berpengaruh terhadap campuran beton aspal (Suprpto, 2004). Tiga contoh pengaruh penggunaan bahan pengisi adalah:

1. Meningkatkan kepadatan, kekuatan, dan karakteristik lain dari beton aspal;
2. Rongga antar agregat dapat diisi oleh bahan pengisi sehingga bidang kontak antara butir agregat bertambah yang akan meningkatkan kekuatan campuran;
3. Aspal akan membentuk bahan pengikat dengan konsistensi tinggi dan membuat butiran agregat

terikat lebih kuat jika dicampur dengan bahan pengisi.

Aspal merupakan material yang menjadi padat pada temperatur kamar dan dapat menjadi cair pada suatu temperatur tinggi (Sukirman, 1999). Aspal umumnya berwarna hitam. Sifat aspal tersebut yang dikenal dengan sifat termoplastis sangat memengaruhi pembuatan campuran perkerasan. Saat aspal cair pada temperatur tinggi, aspal akan melapisi partikel agregat hingga masuk ke dalam pori-pori agregat. Saat aspal memadat pada temperatur rendah, aspal akan mengeras dan terikat dengan agregat. Aspal berasal dari senyawa hidrogen (H) dan karbon (C) yang sering disebut dengan istilah hidrokarbon atau juga umum disebut bitumen. Senyawa hidrogen dan karbon terdiri atas *paraffin*, *naptene* dan *aromatics* yang membentuk kelompok-kelompok yang disebut *asphaltene*, *oils*, dan *resins*.

Komponen dinding terdiri atas batu bata, acian, dan plesteran yang terbuat dari campuran agregat dan semen. Batu bata sendiri terbuat dari lempung atau tanah liat yang memiliki kandungan silika sebanyak 50-70%, sekam padi, kotoran binatang sebagai pelunak tanah dan membantu dalam proses pembakaran batu bata serta air. Komponen pecahan dinding sama seperti komponen pada dinding yang masih berdiri tegak tetapi sudah mengalami kerusakan bentuk dan tercampur dengan partikel kotor atau limbah. Pada lokasi pembuangan pecahan dinding atau yang umum disebut brangkal, tidak jarang ditemukan agregat kasar berupa split yang pernah digunakan sebagai salah satu komponen dinding pada suatu bangunan tertentu. Setiap pecahan dinding di berbagai tempat akan memiliki kualitas yang berbeda tergantung pada jenis campuran yang digunakan saat dinding tersebut dibuat.

Perencanaan campuran penting untuk dilakukan supaya campuran yang diperoleh memenuhi spesifikasi. Metode perencanaan campuran yang digunakan adalah metode Bina Marga atau metode CQCMU. Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas; ketahanan terhadap kedap air; pelelehan; keawetan; kelenturan; kekesatan; dan mudah dilaksanakan. Kekuatan dan kinerja dari beton aspal diukur dengan pengujian *Marshall* atau *Marshall Test*. Parameter yang ditinjau melalui uji *Marshall* adalah:

1. Stabilitas (*stability*)
Stabilitas adalah ketahanan campuran beraspal terhadap beban hingga mengalami keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram (kg);
2. Pelelehan (*flow*)
Pelelehan adalah kondisi suatu campuran beraspal yang mengalami perubahan bentuk atau

deformasi saat terjadi keruntuhan, dinyatakan dalam milimeter;

3. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient adalah pembagian stabilitas dengan pelelehan (*flow*). Rumus *Marshall Quotient* ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (1)$$

dengan:

- MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm);
MS = stabilitas (kg);
MF = pelelehan (mm).

Penelitian ini diperlukan untuk mengetahui apakah pecahan dinding bangunan dapat digunakan untuk mengganti sebagian atau seluruh abu batu yang umum dipakai sebagai bahan pengisi. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh dan manfaat penggunaan pecahan dinding bangunan sebagai bahan pengisi pada campuran beton aspal lapis aus (*Asphalt Concrete Wearing Course*, AC-WC).

2. METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini adalah metode eksperimental di laboratorium. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil dan pasir, pecahan dinding, dan bahan aspal menggunakan aspal penetrasi 60. Metode perancangan yang digunakan sebagai acuan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Divisi VI Perkerasan Jalan, Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B serta Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum 2016. Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

- 1) Alat uji aspal, yaitu piknometer dan timbangan;
- 2) Alat uji agregat, yaitu satu set ayakan (1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.12, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200), wadah pengaduk, oven, piknometer, timbangan, dan pemanas.
- 3) Alat uji karakteristik campuran beraspal, yaitu alat *Marshall Compactor* dan alat uji *Marshall*.
- 4) Alat tekan *Marshall* yang terdiri atas: kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lb), dan dilengkapi dengan arloji pelelehan.
- 5) Alat cetak benda uji yang berdiameter 10,2 cm (4 inci) dan tinggi 7,5 cm (3 inci) lengkap dengan pelat alas.
- 6) Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,5 kg (10,11 lb) dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci).
- 7) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.

- 8) Bak perendam yang dilengkapi dengan pengatur temperatur;
- 9) Perlengkapan lain yang meliputi: pemanas, timbangan, wadah pencampuran, sendok pengaduk, lap, sarung tangan, termometer, spatula, spidol, dan *tip-ex* untuk menandai benda uji. (2.19)

Perhitungan kadar aspal menjadi hal pertama yang dilakukan dalam merencanakan pembuatan campuran benda uji. Kadar aspal menjadi acuan untuk membuat benda uji *Marshall* agar diperoleh kadar aspal optimum (KAO).

1. Mencari kadar aspal optimum:
 - a. Berdasarkan perkiraan kadar aspal rencana, yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, maka buatlah 3 buah benda uji untuk mewakili satu kadar aspal. Jumlah keseluruhan benda uji adalah 15 buah;
 - b. Satu benda uji mengandung ± 1100 gram agregat. Ukuran diameter benda uji sebesar 4 inci. Wadah pencampuran yang berisi agregat dingin dipanaskan kira-kira 30°C di atas temperatur pencampuran (158°C). Di waktu yang bersamaan, panaskan juga aspal sampai temperatur pencampuran;
 - c. Tuangkan aspal ke dalam wadah berisi agregat yang sudah dipanaskan sesuai dengan perhitungan. Aduk sampai agregat tertutup aspal secara merata;
 - d. Lakukan kompaksi uji *Marshall* dengan 2 x 75 tumbukan untuk semua benda uji secara bolak balik (atas dan bawah);
 - e. Diamkan benda uji selama ± 24 jam hingga mencapai temperatur ruang;
 - f. Keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan ejektor;
 - g. Lakukan uji *Marshall* untuk mendapatkan kadar aspal optimum dan parameter *Marshall* berupa nilai VIM, VMA, VFB, stabilitas, dan pelelehan sesuai dengan spesifikasi campuran yang digunakan.
2. Langkah-langkah uji *Marshall* yaitu:
 - a. Penimbangan berat kering lalu rendam benda uji selama ± 30 menit dan timbang berat benda uji dalam air. Setelah dikeluarkan dari air, benda uji dilap dan ditimbang untuk mendapatkan berat kering permukaan jenuh (SSD);
 - b. Perendaman benda uji dalam *water bath* selama ± 30 menit pada temperatur (60 \pm 1)°C. Keluarkan benda uji lalu letakkan pada segmen bawah kepala penekan. Kemudian segmen atas dipasang di atas benda uji. Letakkan semua segmen pada alat tekan *Marshall*. Pasang arloji pelelehan pada kedudukannya di atas batang penuntun dan

- atur kedudukan jarum. Sementara itu, tahanan selubung tangkai arloji pelelehan saat pembebanan berlangsung;
- c. Pembebanan benda uji kemudian dilakukan pada kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit. Pembebanan dilakukan hingga arloji pembacaan stabilitas tidak mengalami perubahan. Catat hasil arloji stabilitas dan pelelehan. Dan hasil tersebut akan diperoleh kadar aspal optimum dengan menggambarkan grafik hubungan parameter *Marshall* dengan kadar aspal;
 - d. Sehingga, dari pengujian akan diperoleh kadar aspal optimum.
3. Nilai kadar aspal optimum yang telah diperoleh digunakan untuk mendapatkan hasil perbandingan antara penggunaan 100%, 50%, dan 25% pecahan dinding sebagai pengganti sebagian atau seluruh abu batu. Satu kadar pecahan dinding diwakili oleh 3 benda uji dengan kadar aspal optimum sehingga total benda uji adalah 9 buah. Diperoleh parameter *Marshall* berupa nilai VIM, VMA, VFB, stabilitas, dan pelelehan sesuai dengan spesifikasi campuran yang digunakan. Untuk penggunaan 0% pecahan dinding, nilai parameter *Marshall* diambil dari grafik hasil uji *Marshall* pada kadar aspal rencana.
4. Langkah pengujian *Marshall* untuk beton aspal modifikasi ini sama dengan pengujian saat mencari kadar aspal optimum.
- a. Benda uji yang dibuat terdiri atas 100% bahan pengisi menggunakan pecahan dinding, 50% bahan pengisi pecahan dinding dan 50% abu batu serta 25% bahan pengisi pecahan dinding dan 75% abu batu;
 - b. Agregat sebanyak ± 1100 gram dibutuhkan untuk satu benda uji. Ukuran diameter benda uji sebesar 4 inci. Wadah pencampuran beserta agregat dipanaskan $\pm 30^{\circ}\text{C}$ di atas temperatur pencampuran (158°C). Di waktu yang bersamaan, panaskan juga aspal sampai temperatur pencampuran;
 - c. Tuangkan aspal ke dalam wadah berisi agregat yang sudah dipanaskan sesuai dengan perhitungan. Aduk sampai agregat tertutup aspal secara merata;
 - d. Lakukan kompaksi uji *Marshall* dengan 2 x 75 tumbukan untuk semua benda uji secara bolak balik (atas dan bawah);
 - e. Diamkan benda uji selama ± 24 jam hingga mencapai temperatur ruang;
 - f. Keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan ejektor;

- g. Lakukan uji *Marshall* untuk mendapatkan parameter *Marshall*, khususnya stabilitas dan *flow*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

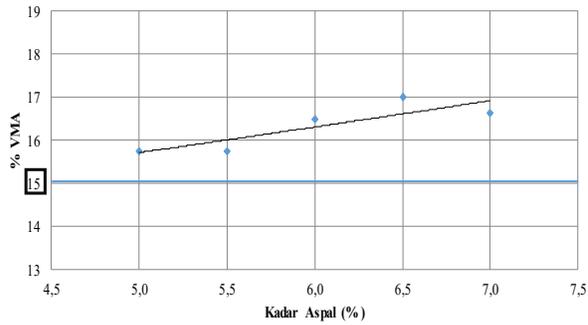
Kualitas material yang digunakan pada campuran akan memengaruhi proses dan hasil pencampuran. Material terdiri atas agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus dengan komposisi sesuai dengan spesifikasi yang berlaku untuk beton aspal AC-WC, aspal penetrasi 60 serta pecahan dinding sebagai bahan pengisi. Penggunaan pecahan dinding dilakukan dengan cara mengganti abu batu sebanyak 100%, 50%, 25%, dan 0% dari jumlah berat bahan pengisi, yakni agregat lolos ayakan No.200, yang dibutuhkan pada tiap sampel. Jika kualitas material uji belum sesuai dengan spesifikasi yang berlaku, maka harus dilakukan pengujian ulang sampai mendapatkan hasil yang sesuai. Persentase pecahan dinding dipilih untuk melihat perubahan yang terjadi pada hasil uji *Marshall*.

Material pecahan dinding terdiri atas batu bata, acian, dan plesteran. Pecahan dinding sebelumnya dihancurkan sampai menjadi bubuk lalu diayak untuk mendapatkan fraksi lolos ayakan No.200. Ada dua cara penyaringan, yaitu cara manual dan mesin. Cara manual adalah penyaringan dengan menggunakan tangan dan cara kedua adalah penyaringan dengan menggunakan mesin pengguncang ayakan. Cara kedua lebih mudah karena lebih hemat tenaga dan waktu penyaringan lebih singkat. Pada penelitian ini, dari satu kilogram pecahan dinding diperoleh $\pm 160,5$ gram fraksi bahan pengisi. Secara visual mayoritas pecahan dinding yang lolos ayakan No.200 adalah batu bata karena warna dari debu pecahan dinding berwarna jingga kecoklatan. Batu bata merupakan komponen pecahan dinding yang paling mudah dihancurkan, diikuti oleh acian, plesteran, dan agregat kasar berupa split. Berat jenis pecahan dinding adalah sebesar 2,287 gram/cc.

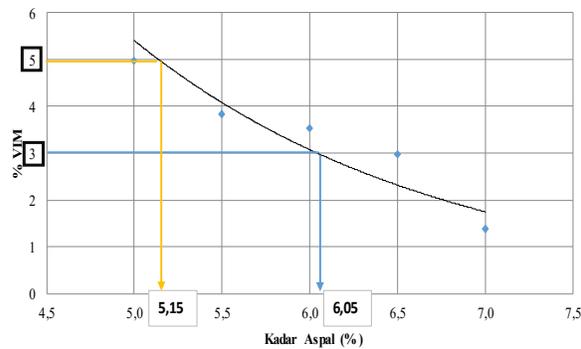
Hasil pengujian *Marshall* pada kadar aspal rencana dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hasil pengujian tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* seperti pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 diperoleh bahwa kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan kelima parameter *Marshall* berada pada nilai 5,4%.

Uji *Marshall* pada kadar aspal optimum dilakukan untuk beton aspal modifikasi dengan penggunaan pecahan dinding sebagai bahan pengisi. Benda uji dibuat sebanyak 9 sampel dengan penggunaan pecahan dinding sebagai bahan pengisi pengganti abu batu sebanyak 100%, 50%, dan 25%. Satu kadar pecahan dinding terdiri atas tiga sampel. Untuk nilai parameter *Marshall* kadar pecahan

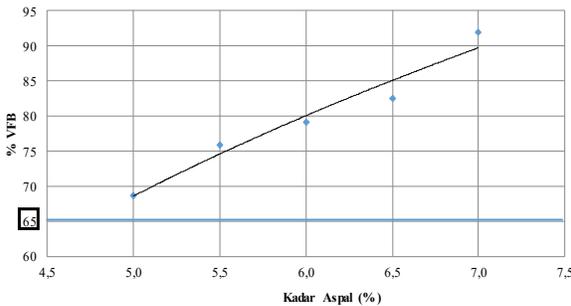
dinding 0% diambil dari grafik hasil uji *Marshall* pada kadar aspal rencana. Hasil rata-rata dan hasil lengkap pengujian *Marshall* pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Tabel 1.



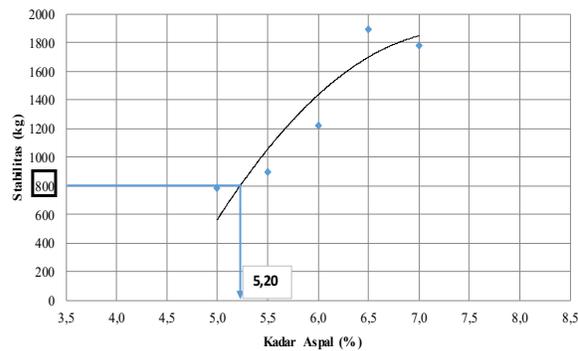
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA



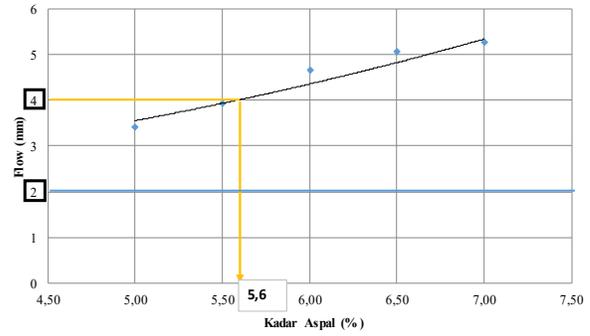
Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM



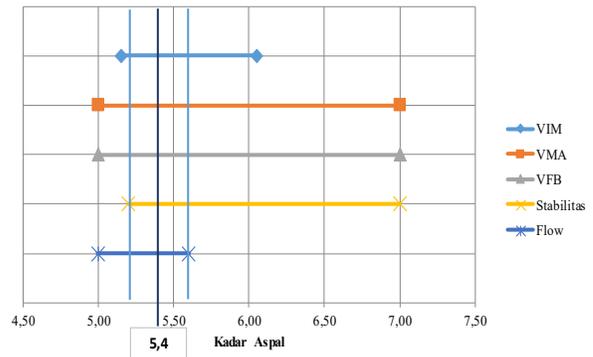
Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB



Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow



Gambar 7. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Uji *Marshall* pada kadar aspal optimum dilakukan untuk beton aspal modifikasi dengan penggunaan pecahan dinding sebagai bahan pengisi. Benda uji dibuat sebanyak 9 sampel dengan penggunaan pecahan dinding sebagai bahan pengisi pengganti abu batu sebanyak 100%, 50%, dan 25%. Satu kadar pecahan dinding terdiri atas tiga sampel. Untuk nilai parameter *Marshall* kadar pecahan dinding 0% diambil dari grafik hasil uji *Marshall* pada kadar aspal rencana. Hasil rata-rata pengujian *Marshall* pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 menunjukkan kadar pecahan dinding dan nilai parameter *Marshall*, termasuk *Marshall Quotient* (MQ). Nilai stabilitas yang digunakan sama seperti nilai stabilitas pada kadar aspal rencana, yaitu nilai stabilitas dengan hasil koreksi benda uji. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kadar pecahan dinding 25% dan kadar abu batu 75% memiliki nilai stabilitas paling besar di antara kadar lainnya, yaitu sebesar 1622,47 kg. Nilai VMA yang disyaratkan harus di atas 15% dan semua sampel memenuhi syarat tersebut. Dari hasil penelitian, semakin besar kadar pecahan dinding sebagai bahan pengisi maka nilai VMA semakin besar. Nilai VIM yang disyaratkan harus berada antara 3-5%, namun hasil pengujian semua tidak memenuhi syarat, semakin besar kadar pecahan dinding maka nilai VIM semakin besar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Rencana

| Tanggal | | : 6 November 2019 | | Berat Jenis Agregat | | | | : 2,516 | | | | Jenis Aspal | | : Penetrasi 60 | | |
|----------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------|
| Jenis Campuran | | : Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) | | Berat Jenis Aspal | | | | : 1,036 gram/cc | | | | | | | | |
| Sampel | % Aspal terhadap Agregat | % Aspal terhadap Campuran | Berat Sampel (gram) | Berat Sampel SSD (gram) | Berat Sampel dalam Air (gram) | Volume (mL) | Berat Isi Benda Uji (g) | B.J. Maks (Teoritis) | VIM (%) | VMA (%) | VFB (%) | Arloji Stabilitas | Stabilitas (kalibrasi alat) (kg) | Stabilitas (koreksi benda uji) (kg) | Flow (mm) | % Agregat terhadap Campuran |
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
| 1 | 5,26% | 5,00% | 1147,4 | 1165,1 | 645,4 | 519,7 | 2,208 | 2,348 | 5,97 | 16,62 | 64,09 | 36,00 | 412,92 | 412,92 | 3,03 | 95,00% |
| 2 | 5,26% | 5,00% | 1153,5 | 1162,9 | 653,3 | 509,6 | 2,264 | 2,348 | 3,60 | 14,52 | 75,23 | 92,00 | 1055,24 | 1055,24 | 4,16 | 95,00% |
| 3 | 5,26% | 5,00% | 1151,1 | 1161,2 | 643,4 | 517,8 | 2,223 | 2,348 | 5,32 | 16,05 | 66,85 | 77,00 | 883,19 | 883,19 | 3,05 | 95,00% |
| | | 5,00% | 1150,7 | | | 515,7 | 2,231 | | 4,96 | 15,73 | 68,72 | 68,33 | 783,78 | 783,78 | 3,41 | |
| 4 | 5,82% | 5,50% | 1157,6 | 1167,3 | 655,3 | 512,0 | 2,261 | 2,332 | 3,07 | 15,07 | 79,65 | 84,00 | 963,48 | 963,48 | 3,57 | 94,50% |
| 5 | 5,82% | 5,50% | 1154,3 | 1166,5 | 646,1 | 520,4 | 2,218 | 2,332 | 4,90 | 16,68 | 70,61 | 85,00 | 974,95 | 974,95 | 4,24 | 94,50% |
| 6 | 5,82% | 5,50% | 1155,0 | 1163,4 | 650,1 | 513,3 | 2,250 | 2,332 | 3,53 | 15,47 | 77,20 | 65,00 | 745,55 | 745,55 | 4,02 | 94,50% |
| | | 5,50% | 1155,6 | | | 515,2 | 2,243 | | 3,83 | 15,74 | 75,82 | 78,00 | 894,66 | 894,66 | 3,94 | |
| 7 | 6,38% | 6,00% | 1158,2 | 1166,2 | 657,6 | 508,6 | 2,277 | 2,317 | 1,72 | 14,91 | 88,46 | 97,00 | 1112,59 | 1112,59 | 4,75 | 94,00% |
| 8 | 6,38% | 6,00% | 1159,7 | 1171,1 | 652,0 | 519,1 | 2,234 | 2,317 | 3,58 | 16,52 | 78,31 | 115,00 | 1319,05 | 1319,05 | 4,65 | 94,00% |
| 9 | 6,38% | 6,00% | 1159,7 | 1169,5 | 641,0 | 528,5 | 2,194 | 2,317 | 5,30 | 18,01 | 70,57 | 111,00 | 1273,17 | 1222,24 | 4,61 | 94,00% |
| | | 6,00% | 1159,2 | | | 518,7 | 2,235 | | 3,53 | 16,48 | 79,11 | 107,67 | 1234,94 | 1217,96 | 4,67 | |
| 10 | 6,95% | 6,50% | 1167,6 | 1177,5 | 657,0 | 520,5 | 2,243 | 2,302 | 2,55 | 16,62 | 84,65 | 173,00 | 1984,31 | 1984,31 | 4,75 | 93,50% |
| 11 | 6,95% | 6,50% | 1165,7 | 1177,6 | 653,7 | 523,9 | 2,225 | 2,302 | 3,34 | 17,30 | 80,69 | 172,00 | 1972,84 | 1893,93 | 5,10 | 93,50% |
| 12 | 6,95% | 6,50% | 1160,8 | 1172,9 | 652,9 | 520,0 | 2,232 | 2,302 | 3,03 | 17,03 | 82,23 | 156,00 | 1789,32 | 1789,32 | 5,35 | 93,50% |
| | | 6,50% | 1164,7 | | | 521,5 | 2,234 | | 2,97 | 16,99 | 82,52 | 167,00 | 1915,49 | 1889,19 | 5,07 | |
| 13 | 7,53% | 7,00% | 1173,3 | 1182,9 | 657,4 | 525,5 | 2,233 | 2,287 | 2,37 | 17,46 | 86,40 | 162,00 | 1858,14 | 1783,81 | 5,21 | 93,00% |
| 14 | 7,53% | 7,00% | 1175,6 | 1183,6 | 663,0 | 520,6 | 2,258 | 2,287 | 1,26 | 16,52 | 92,36 | 153,00 | 1754,91 | 1754,91 | 5,08 | 93,00% |
| 15 | 7,53% | 7,00% | 1174,2 | 1181,3 | 665,4 | 515,9 | 2,276 | 2,287 | 0,48 | 15,86 | 96,97 | 157,00 | 1800,79 | 1800,79 | 5,52 | 93,00% |
| | | 7,00% | 1174,4 | | | 520,7 | 2,256 | | 1,37 | 16,61 | 91,91 | 157,33 | 1804,61 | 1779,84 | 5,27 | |

Tabel 2. Hasil Rata-rata Uji Marshall pada KAO

| % Pecahan Dinding | VMA (%) | VIM (%) | Parameter Marshall VFB (%) | Stabilitas (kg) | Pelelehan (mm) | MQ (kg/mm) |
|-------------------|---------|---------|----------------------------|-----------------|----------------|------------|
| 100 | 17,67 | 6,26 | 64,62 | 1585,61 | 3,88 | 433,31 |
| 50 | 17,40 | 5,95 | 65,80 | 1581,94 | 4,84 | 327,03 |
| 25 | 17,20 | 5,72 | 66,79 | 1622,47 | 4,84 | 339,11 |
| 0 | 16,95 | 4,25 | 74,00 | 950,00 | 3,84 | 247,40 |

Nilai VFB yang disyaratkan harus di atas 65% dan sampel yang memenuhi syarat tersebut memiliki kadar pecahan dinding 50%, 25%, dan 0%. Dari hasil penelitian, semakin besar kadar pecahan dinding maka nilai VFB semakin kecil dan menunjukkan bahwa rongga pada benda uji tidak terisi dengan baik jika penggunaan bahan pengisi mayoritas berasal dari pecahan dinding. Nilai stabilitas yang disyaratkan harus di atas 1000 kg dan semua sampel memenuhi syarat tersebut. Nilai pelelehan yang disyaratkan harus berada antara 2-4 mm dan sampel dengan pecahan dinding 100% memenuhi persyaratan. Pelelehan yang terjadi pada umumnya melebihi nilai persyaratan spesifikasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan dari eksperimen laboratorium dengan empat jenis komposisi pecahan dinding sebagai bahan pengisi, yaitu 100% pecahan dinding, 50% pecahan dinding dan 50% abu batu, 25% pecahan dinding dan 75% abu batu serta 100% abu batu, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan pecahan dinding sebagai pengganti sebagian atau seluruh abu batu, menghasilkan karakteristik, sbb:
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan VMA terbesar adalah beton aspal dengan 100% kadar pecahan dinding sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 17,67%,
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan VIM terbesar adalah beton aspal dengan 100% kadar pecahan dinding sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 6,26%,
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan VFB terbesar adalah beton aspal dengan 100% kadar abu batu sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 74,00%,
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan stabilitas terbesar adalah beton aspal dengan 25% kadar pecahan dinding dan 75% kadar abu batu sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 1622,47 kg,
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan pelelehan terbesar adalah beton aspal dengan 50% kadar pecahan dinding dan 50% kadar abu batu serta 25% kadar pecahan dinding dan 75% kadar abu batu sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 4,84 mm,
 - Beton aspal lapis aus (AC-WC) yang menghasilkan *Marshall Quotients* terbesar adalah beton aspal dengan 100% kadar pecahan dinding sebagai bahan pengisi, yaitu sebesar 433,31 kg/mm,
- Penggunaan pecahan dinding sebagai bahan pengisi mampu meningkatkan nilai stabilitas dan pelelehan pada campuran beton aspal.

- Selain itu, penggunaan pecahan dinding meningkatkan nilai persen rongga di antara mineral agregat (VMA) dan persen rongga dalam campuran (VIM), tetapi menurunkan nilai persen rongga terisi aspal (VFB),
3. Beton aspal lapis aus adalah lapis permukaan yang dibutuhkan dalam menahan beban lalu lintas yang bekerja selain dari fungsinya sebagai lapis tahan air, tahan cuaca, dan memiliki kekesatan pada jalan. Untuk menahan beban lalu lintas, lapis aus membutuhkan nilai stabilitas yang tinggi. Jika dilihat dari nilai stabilitas, maka beton aspal lapis aus dengan 100% kadar pecahan dinding dapat digunakan, namun perlu dilakukan penelitian lanjut apa yang harus ditambahkan agar diperoleh nilai VIM yang memenuhi persyaratan.

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian, diperlukan penelitian lebih lanjut terkait komposisi pecahan dinding yang digunakan, sehingga dapat diketahui mengapa pecahan dinding tersebut tidak dapat memenuhi persyaratan VIM.

REFERENSI

Aldimus, D. (2012). Pengaruh Batu Kapur Sebagai Filler pada Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC), *Tugas Akhir*, Bandung: Universitas Kristen Maranatha.

- Anandakhrisna, B.P. (2002). *Studi Eksploratif Pemanfaatan Genteng yang Didaur Ulang Sebagai Agregat Halus Beton*, Tugas Akhir, Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Azis, S. (2017). *Studi Penelitian Pemanfaatan Limbah Bata Merah sebagai Filler pada Beton Aspal AC-WC*, Tugas Akhir, Malang: Institut Teknologi Nasional.
- Kamil (2002). *Studi Eksploratif Pemanfaatan Berangkal Tembok Bata yang Didaur Ulang Menjadi Agregat Kasar Beton*, *Tugas Akhir*, Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peraturan Perundang-Undangan Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Panjaitan, K. D. & Ing, T. L. (2017). Pengaruh Penggunaan Genteng Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar dan Abu Terbang Sebagai Pengisi pada Laston AC-BC. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 95-113.
- Silaban, R. (2019). *Pengaruh Serat Fiber Terhadap Stabilitas dan Pelelehan pada Campuran Laston (AC-WC)*, *Tugas Akhir*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- Sitanggang, S. & Bernard, H. (2014). *Penggunaan Filler Semen Portland pada AC-WC Halus Spesifikasi Jalan Bina Marga 2010*, *Tugas Akhir*, Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Suprpto, T. M. (2004). *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT Universitas Gajah Mada.