

Contents list available at [journal.uib.ac.id](https://journal.uib.ac.id)**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

## Analisa Stabilitas Laston AC-WC Penggunaan Limbah Beton Mutu K-250 sebagai Agregat Kasar

### Stability Analysis of Laston AC-WC Using K-250 Quality Waste Concrete as Coarse Aggregate

Raffles<sup>1</sup>, Usmanul Hayadi Umar<sup>1</sup><sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional BatamEmail korespondensi: [usmanul@yahoo.com](mailto:usmanul@yahoo.com)

| INFO ARTIKEL   | ABSTRAK   |
|--|---|
| <p><b>Kata kunci :</b></p> <p>Perkerasan lentur,<br/>Lapisan AC-WC,<br/>Limbah beton</p> | <p>Pembangunan jalan raya pada umumnya berupa pencampuran aspal dan agregat yang kemudian disebut sebagai perkerasan lentur. Lapis aspal beton (AC) merupakan bagian teratas dari struktur jalan raya yang memberikan kenyamanan dalam berkendara dan juga berfungsi menahan beban lalu lintas berulang akibat kendaraan yang melintas. Limbah beton sangat mudah kita temukan pada pembongkaran jalan dan hasil uji laboratorium. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa apakah penggunaan limbah beton mutu K-250 hasil uji laboratorium dalam bentuk limbah kubus digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran perkerasan jalan lapis AC-WC masuk dalam spesifikasi Bina Marga. Dari hasil pengujian perhitungan dan laboratorium didapatkan hasil bahwa limbah beton mutu K-250 sebagai pengganti agregat kasar memenuhi persyaratan minimum Bina Marga 2018. Pada penggunaan kadar aspal optimum (KOA) 7,03% didapatkan hasil MQ 555,845, nilai VMA 17,98, nilai VIM 3,08 yang mana seluruh hasil telah masuk dalam persyaratan Bina Marga 2018. Kesimpulan dari hasil pengujian laboratorium adalah limbah beton mutu K-250 dapat digunakan sebagai alternative pengganti agregat kasar.</p> |

| ARTICLE INFO  | ABSTRACT  |
|---|---|
| <p><b>Keywords:</b></p> <p>Flexible pavement,<br/>AC-WC pavement,<br/>Waste concrete.</p> | <p><i>The construction of the highway is generally in the form of asphalt and aggregate mixing which is then referred to as flexible pavement. Asphalt Concrete layer (AC) is the surface layer of the structure of the highway that provides comfort in driving also serves to withstand the loads of repetitive traffic due to passing vehicles. Concrete waste is very easy to find in road demolition and laboratory test results waste. The purpose of this study is to analyze whether the use of K-250 quality concrete waste from laboratory test results waste in the form of cube waste used as coarse aggregate in AC-WC pavement mixing fulfill in Bina Marga specifications. From the results of calculations and laboratory tests, the results show that K-250 quality concrete waste as a substitute for coarse aggregate meets the minimum requirements of 2018 Highways. In the optimum asphalt content (KOA) of 7.03%, the results of MQ 555,845, VMA value is 17.98, VIM value is 3.08 which all the results have fulfilled in the 2018 Bina Marga requirements. The conclusion from the results of laboratory testing is that the K-250 quality concrete waste can be used as an alternative to coarse aggregate.</i></p> |

## 1. Pendahuluan

Perkembangan pembangunan di kota Batam dalam 5 tahun terakhir sangatlah pesat. Dapat kita lihat dari pembangunan infrastruktur, pelebaran jalan, pembangunan dermaga, pembangunan fly-over dan renovasi yang dilakukan pada pelabuhan-pelabuhan laut maupun udara dan di kota Batam [1]. Pembangunan jalan raya pada umumnya berupa pencampuran aspal dan agregat yang kemudian disebut sebagai perkerasan lentur. Lapis aspal beton (Asphalt Concrete - AC) merupakan bagian teratas dari struktur jalan raya yang memberikan kenyamanan dalam berkendara dan juga berfungsi menahan beban lalu lintas berulang akibat kendaraan yang melintas. Salah satu dari tujuan penggunaan limbah beton adalah untuk mendaur ulang limbah beton yang sudah tidak dipakai dari hasil pembongkaran bangunan, jalan raya serta hasil sisa olah laboratorium. Oleh karena kualitas dan kemudahan dari memperoleh limbah beton inilah menjadi salah satu alasan utama penulis ingin mencoba melakukan percobaan analisis limbah beton sebagai agregat pada campuran aspal beton.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Agregat (*Aggregate*)

Agregat merupakan material primer dalam campuran yang berfungsi mendistribusi beban yang diterima. Agregat disebut sebagai material primer dalam pencampuran struktur perkerasan dengan kandungan sekitar 90-94 % diperhitungkan dari total persen berat atau 75-85 % dari persen Volume. Oleh sebab itu hasil pencampuran dan karakteristik agregat menentukan kualitas perkerasan [2], [3].

### 2.2 Agregat Limbah Beton

Konstruksi di Indonesia pada umumnya menggunakan bahan material dari beton [4]. Beton adalah material yang memiliki kelebihan seperti kuat tekan yang tinggi dan merupakan kebutuhan konsumen yang tinggi pula terhadap beton baik di bidang infrastruktur maupun struktur. Pembangunan yang terus meningkat menyebabkan permintaan beton yang terus meningkat pula [5]. Namun demikian, ketika pembangunan itu berlangsung misalnya dalam hal pekerjaan perbaikan atau renovasi maka terdapat sisa – sisa beton yang dihancurkan. Seperti yang terungkap dari penelitian sebelumnya, kualitas agregat umumnya diklasifikasikan menurut tingkat penyerapan [6]. Absorpsi yang tinggi menunjukkan tingkat perlekatan semen mortar tinggi, yang umumnya mengarah pada beton dengan kekuatan yang lebih rendah, daya tahan, deformasi, dan sifat susut. Dengan demikian, kekuatan desain maksimum yang diijinkan pada beton dapat diterapkan terbatas.



Gambar 2.1 Limbah Beton

### 2.3 Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang bersifat viskoelastis sehingga akan mencair bila dipanaskan pada suhu tertentu dan memadat jika berada di bawah suhu leleh (suhu ruang). Karakteristik tersebutlah yang mengkondisikan aspal dapat mengikat dan menyelimuti agregat [7] [8]. Aspal yang umumnya dipakai di Indonesia adalah hasil penulungan minyak bumi berupa aspal keras, aspal cair dan aspal emulsi. Selain itu terdapat juga aspal dari alam (aspal batu dan

aspal danau) dan aspal modifikasi. Tingkat pengontrolan pada saat pembakaran  $>400\text{ }^{\circ}\text{C}$  akan menghasilkan aspal yang layak untuk pemakaian CAP dan lain-lain [9].

#### 2.4 Lapis Aspal Beton (Asphalt Course, AC)

Laston (AC) terdiri dari tiga lapisan, yaitu AC-base, AC-BC (AC-Binder Course), dan AC-WC (AC-Wearing Coarse). Ciri-ciri daripada AC adalah pada gradasi agregat yang rapat. Setiap lapisan pada lapis AC dibedakan dari butir gradasi yang dicampur. Lapis AC umumnya direncanakan pada jalan berlalu-lintas ringan hingga berat. Untuk lapis permukaan (AC-WC) diperlukan campuran yang lebih rapat agar memberikan karakteristik lebih kedap terhadap air dan memberi kekesatan yang cukup untuk menunjang kenyamanan dan keamanan dalam berlalu-lintas [7].

#### 2.5 Metode Penentuan Kadar Aspal

Kadar aspal ditentukan dengan menggunakan metode luas permukaan. Langkah-langkah dari metode luas permukaan adalah sebagai berikut [10]:

1. Tentukan nilai perbandingan berat jenis agregat standar ( $=2,65$ ) dengan berat jenis agregat yang diperiksa (S) sesuai dengan kombinasi masing-masing campuran.
2. Tentukan nilai faktor kekasaran permukaan (K). Faktor kekasaran (K) dapat ditentukan sesuai dengan jenis permukaan lapisan penutup yang dihasilkan.
3. Tentukan persentase kebutuhan aspal berdasarkan luas permukaan (T).
4. Maka didapat kebutuhan aspal ( $P$ ) =  $S \times K \times T$

#### 2.6 Stabilitas

Stabilitas menunjukkan ketahanan terhadap terjadinya alur (rutting). Beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas yaitu persen aspal, jumlah filler, bentuk dan kekerasan permukaan agregat. Nilai stabilitas diperoleh dari pengujian Marshall yang merupakan beban maksimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan keruntuhan dari sampel campuran perkerasan yang diuji.

Nilai stabilitas yang digunakan adalah nilai stabilitas benda uji yang diperoleh dari nilai stabilitas yang dibaca di arloji stabilitas dalam tes Marshall dikali dengan kalibrasi alat Marshall dan dikalikan lagi dengan koreksi benda uji yang dihitung berdasarkan isi benda uji atau tebal benda uji.

#### 2.7 Kelelehan Plastis (*Flow*)

Bina Marga (2018) mengisyaratkan flow untuk campuran aspal untuk lalu lintas berat yaitu minimum 2 mm dan maksimal 5 mm [11][12].

Flow merupakan kelelehan dari perubahan tekstur plastic pada campuran akibat beban yang dipikul sampai batas maksimal yang kemudian akan menyebabkan keruntuhan. Pengujian dicatat dalam satuan mm atau 0,01inch yang dibaca dari arloji kelelehan pada saat uji marshall.

#### 2.8 Rongga dalam Mineral Agregat (Voids in the Mineral Aggregate, VMA)

VMA adalah ruang kosong yang berada antar butiran agregat dalam campuran yang dipadatkan, termasuk ruang yang berisi aspal dan dicatat dalam persen dari volume total. Bina Marga (2018) mengisyaratkan nilai minimum dari VMA adalah 15 % untuk campuran AC-WC [11].

#### 2.9 Rongga dalam Campuran (Voids in Mix, VIM)

VIM merupakan ruang kosong yang berada diantara butiran agregat yang telah diselubungi oleh aspal didalam campuran yang dipadatkan dan dicatat dalam persen dari Volume total. Bina

Marga (2018) membatasi nilai VIM untuk AC-WC untuk melayani lalu lintas berat yaitu minimal 3 % dan maksimal 5 %. Nilai minimal 3 % untuk mencegah terjadinya bleeding pada campuran perkerasan saat pemadatan oleh beban lalu lintas, sedangkan nilai VIM yang lebih besar dari 5 % menyebabkan campuran perkerasan kurang kedap air.

**2.10 Rongga terisi aspal (Voids filled with asphalt, VFA)**

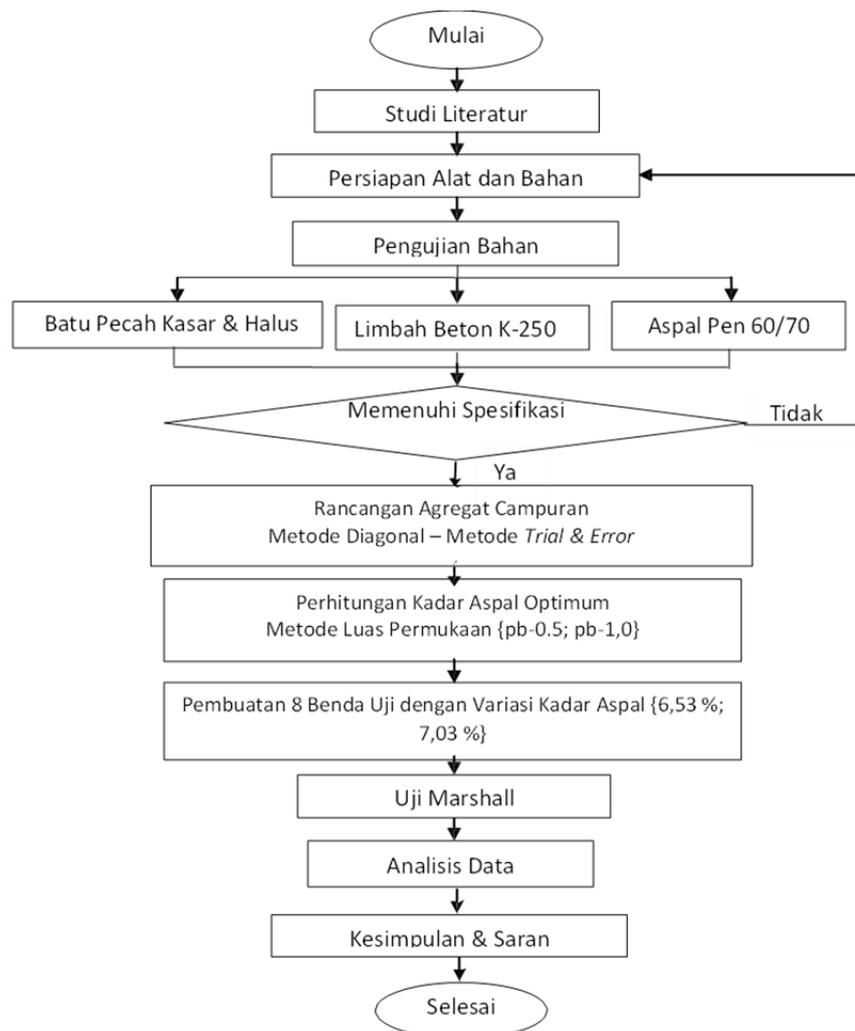
VFA merupakan persen volume rongga di dalam rongga yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap agregat. Untuk memperoleh campuran perkerasan yang awet, maka pori antar agregat harus terisi oleh aspal yang cukup untuk mendapatkan suatu lapisan aspal yang tebal.

**2.11 Marshall Quotient (MQ)**

MQ merupakan hasil bagi dari hasil stabilitas dan flow. MQ juga merupakan indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan perkerasan. Bina Marga (2018) memberi batasan nilai MQ untuk lalu lintas berat minimal 250 kg/mm.

**3. Metode Penelitian**

**3.1 Bagan Alir Penelitian**



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Pengujian Agregat

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis granit (crushed rock) yang umum dipakai di Kota Batam berasal dari Kabupaten Karimun, Kepulauan Riau dan limbah beton kubus mutu K-250 hasil uji kuat tekan dari PT. SMS. Untuk agregat halus menggunakan pasir merah yang berasal dari Kec. Nongsa yang harganya terjangkau.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar Batu Pecah

| No. | Jenis Pengujian                | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Satuan | Spesifikasi Bina Marga |     |
|-----|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|------------------------|-----|
|     |                                |                  |                 |        | Min                    | Max |
| 1   | Berat Jenis                    | SNI 1969:2008    |                 |        |                        |     |
|     | - Berat Jenis Bulk             |                  | 2.52            | -      | 2.5                    | -   |
|     | - Berat Jenis SSD              |                  | 2.53            | -      | 2.5                    | -   |
|     | - Berat Jenis Apparent         |                  | 2.54            | -      | -                      | -   |
|     | - Penyerapan                   |                  | 0.28            | %      | -                      | 3   |
| 2   | Pengujian Los Angeles Abrasion | SNI 2417:2008    | 27.034          | %      | -                      | 40  |

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

| No. | Jenis Pengujian        | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Satuan | Spesifikasi Bina Marga |     |
|-----|------------------------|------------------|-----------------|--------|------------------------|-----|
|     |                        |                  |                 |        | Min                    | Max |
| 1   | Berat Jenis            | SNI 1970:2008    |                 |        |                        |     |
|     | - Berat Jenis Curah    |                  | 2.52            | -      | 2.5                    | -   |
|     | - Berat Jenis SSD      |                  | 2.54            | -      | -                      | -   |
|     | - Berat Jenis Apparent |                  | 2.56            | -      | -                      | -   |
|     | - Penyerapan           |                  | 0.58            | %      | -                      | 3   |

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar Limbah Beton Mutu K-250

| No | Jenis Pengujian                | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Satuan | Spesifikasi Bina Marga |     |
|----|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|------------------------|-----|
|    |                                |                  |                 |        | Min                    | Max |
| 1  | Berat Jenis                    | SNI 1969:2008    |                 |        |                        |     |
|    | - Berat Jenis Bulk             |                  | 2.50            | -      | 2.5                    | -   |
|    | - Berat Jenis SSD              |                  | 2.56            | -      | 2.5                    | -   |
|    | - Berat Jenis Apparent         |                  | 2.67            | -      | -                      | -   |
|    | - Penyerapan                   |                  | 2.62            | %      | -                      | 3   |
| 2  | Pengujian Los Angeles Abrasion | SNI 2417:2008    | 36.06           | %      | -                      | 40  |

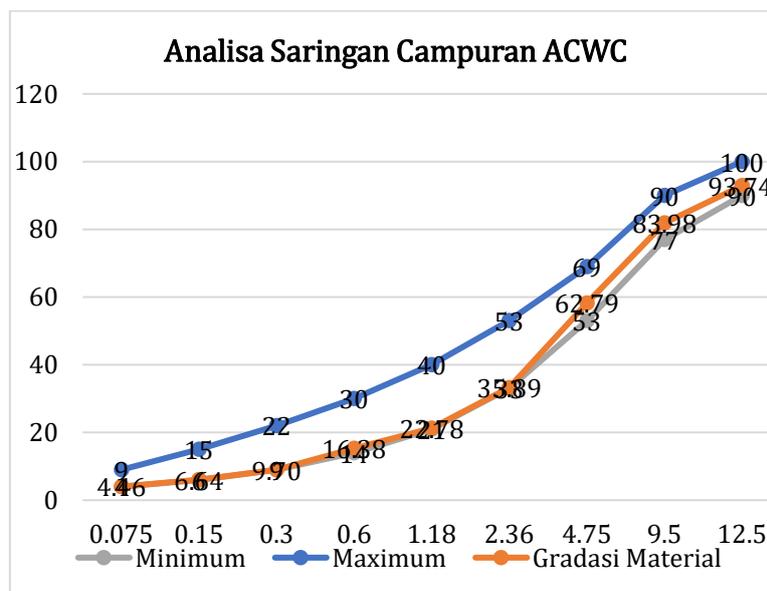
### 4.2 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian terhadap aspal diuji dengan mengacu pada persyaratan Bina Marga dan hasil yang diperoleh harus memenuhi persyaratan. Hasil-hasil uji terhadap aspal dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

| No | Jenis Pengujian                           | Metode Pengujian | Hasil pengujian | Satuan | Spesifikasi Bina Marga Min |
|----|---|------------------|-----------------|--------|----------------------------|
| 1  | Penetrasi pada 25 °C (0.1mm)              | SNI 2456:2011    | 63.06667        | 0,1 mm | 60-70                      |
| 2  | Titik Lembek (Ring and Ball)              | SNI 2343:2011    | 67.5            | °C     | ≥48                        |
| 3  | Titik Nyala ( <i>Cleveland Open Cup</i> ) | SNI 2433:2011    | 251.6           | °C     | ≥232                       |
| 4  | Titik Bakar ( <i>Cleveland Open Cup</i> ) | SNI 2433:2011    | 273             | °C     | ≥232                       |
| 5  | Berat Jenis (25 °C)                       | SNI 2441:2011    | 1.041           | -      | ≥1                         |

### 4.3 Hasil Gradasi Agregat Campuran AC-WC



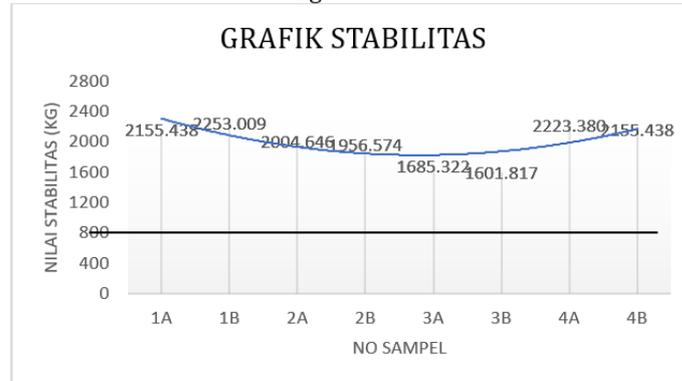
Gambar 4.1 Grafik gradasi campuran AC-WC

### 4.4 Hasil Pengujian Marshall

Jumlah benda uji adalah 4 dengan masing-masing 2 sampel. Benda uji 1A dan 1B merupakan benda uji konvensional menggunakan kadar aspal 6.53%, 2A dan 2B merupakan benda uji konvensional menggunakan kadar aspal 7.03%. Kemudian benda uji 3A dan 3B merupakan benda uji yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar dengan kadar aspal 6.53% dan benda uji 4A dan 4B merupakan benda uji yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar dengan kadar aspal 7.03%.

#### 4.4.1 Hasil Stabilitas

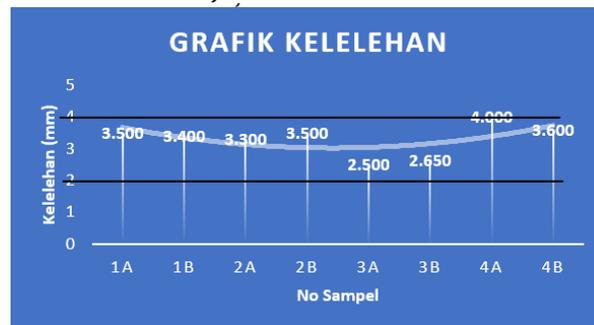
Dari Grafik 4.1 ditampilkan hasil dari nilai stabilitas benda uji 1A - 4B yang semuanya memenuhi syarat untuk campuran AC-WC bina marga. Spesifikasi minimal yang ditetapkan oleh bina marga untuk nilai stabilitas adalah 800 Kg sedangkan hasil stabilitas dari nilai semua benda uji berada diatas nilai 1600 Kg.



Grafik 4.1 Stabilitas

#### 4.4.2 Hasil Flow Meter (Kelelehan)

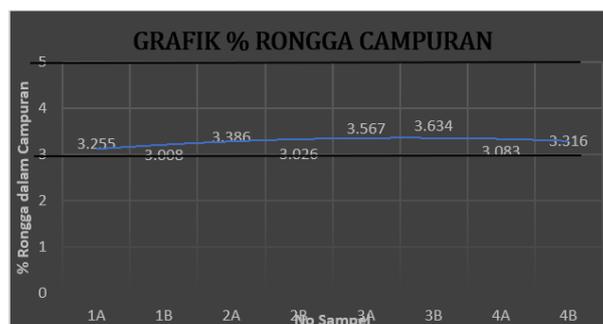
Pada Grafik 4.2 ditampilkan hasil dari nilai *Flow meter* (kelelehan) benda uji 1A - 4B yang semuanya memenuhi syarat untuk campuran AC-WC bina marga. Spesifikasi yang ditetapkan oleh bina marga untuk nilai kelelehan adalah berada diantara nilai 2-4 mm. Untuk hasil kelelehan dari nilai semua benda uji berada diantara 2-4 mm.



Grafik 4.2 Flow Meter (Kelelehan)

#### 4.4.3 Hasil Rongga dalam Campuran/ Void In Mix (VIM)

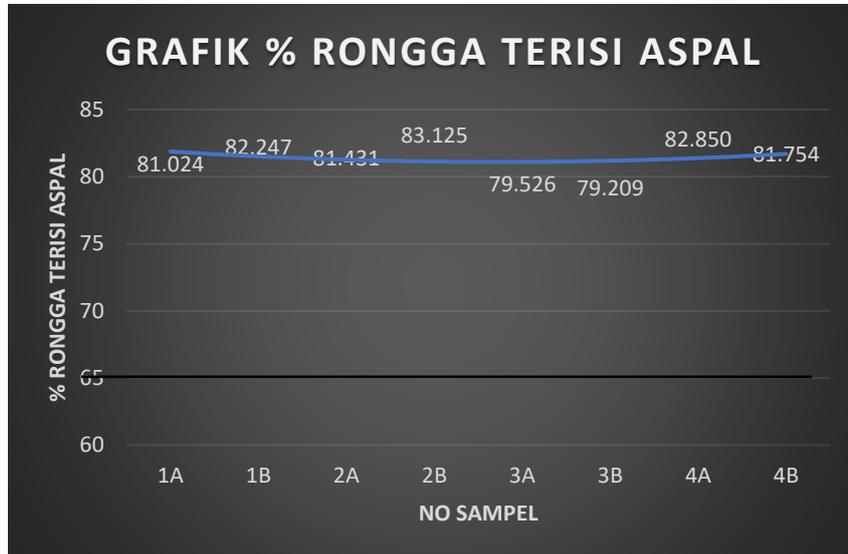
Berdasarkan Grafik 4.3 dapat dilihat hasil dari rongga dalam campuran (VIM) bahwa semua benda uji 1A - 4B memenuhi spesifikasi bina marga untuk campuran AC-WC. Persyaratan bina marga untuk nilai VIM adalah antara 3 - 5%. Sedangkan hasil VIM untuk semua benda uji berada diantara 3 - 4%.



Grafik 4.3 Rongga dalam Campuran (VIM)

#### 4.4.4 Hasil Rongga Terisi Aspal/*Void Filled Asphalt (VFA)*

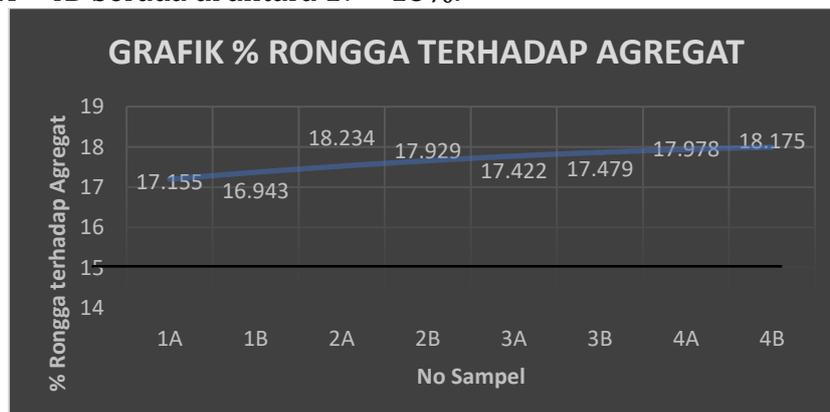
Berdasarkan Grafik 4.4 dapat dilihat hasil dari rongga terisi aspal (VFA) bahwa semua benda uji 1A – 4B memenuhi spesifikasi bina marga untuk campuran AC-WC. Persyaratan minimal bina marga untuk nilai VFA adalah 65%. Sedangkan hasil VFA untuk semua benda uji berada di antara 79 – 83%.



Grafik 4.4 Rongga Terisi Aspal (VFA)

#### 4.4.5 Hasil Rongga dalam Mineral Agregat/*Void in Mineral Aggregate (VMA)*

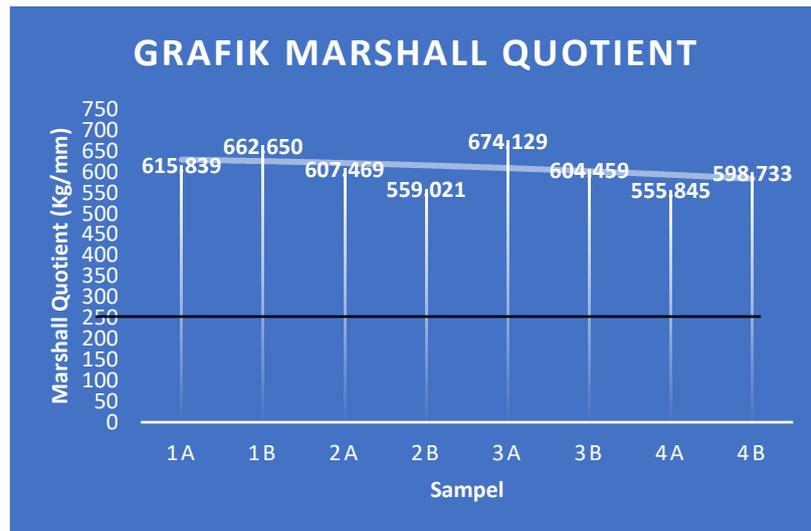
Berdasarkan Grafik 4.5 dapat dilihat hasil dari rongga dalam mineral agregat (VMA) bahwa semua benda uji 1A – 4B memenuhi spesifikasi bina marga untuk campuran AC-WC. Persyaratan minimal bina marga untuk nilai VMA adalah 15%. Sedangkan hasil VMA semua benda uji dari 1A – 4B berada di antara 17 – 18%.



Grafik 4.5 Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)

#### 4.4.6 Hasil *Marshall Quotient (MQ)*

Dari Grafik 4.6 ditampilkan hasil dari nilai MQ benda uji 1A - 4B yang semuanya memenuhi syarat untuk campuran AC-WC bina marga. Spesifikasi minimal yang ditetapkan oleh bina marga untuk nilai MQ adalah 250 Kg/mm sedangkan hasil MQ dari nilai semua benda uji berada di nilai 560 – 670 Kg/mm.

Grafik 4.6 *Marshall Quotient* (MQ)

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian terhadap Karakteristik Marshall Menggunakan Aspal Pen 60/70 dengan membandingkan hasil aspal konvensional dan aspal limbah beton sebagai agregat kasar yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Agregat beton daur ulang dari konstruksi dan pembongkaran puing-puing memiliki potensi tinggi untuk digunakan dalam pembangunan jalan volume rendah industri dan mendukung pertumbuhan berkelanjutan.
2. Agregat beton daur ulang memiliki mortar pada permukaannya. Hal inilah yang menyebabkan agregat daur ulang memiliki kualitas yang lebih rendah dari agregat alami.
3. Campuran dengan agregat beton daur ulang mengkonsumsi jumlah kadar aspal yang lebih tinggi daripada campuran konvensional. Hal ini dikarenakan berat jenis dari agregat kasar yang lebih rendah.
4. Penggunaan limbah beton mutu K-250 sebagai pengganti agregat kasar memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan hasil berat jenis curah 2,50 yang mana standar minimal berat jenis curah untuk agregat kasar adalah 2,50.
5. Penggunaan limbah beton mutu K-250 sebagai pengganti agregat kasar memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan hasil tingkat keausan yang didapat adalah 36,06% yang mana standar maksimal tingkat keausan untuk agregat kasar adalah <40%.
6. Campuran dengan penggunaan limbah beton mutu K-250 sebagai agregat kasar pada KOA 6,53% mengakibatkan nilai stabilitas dan flow pada campuran semakin menurun dibandingkan dengan nilai stabilitas dan flow aspal konvensional.
7. Campuran dengan penggunaan limbah beton mutu K-250 sebagai agregat kasar pada KOA 7,03% menghasilkan nilai stabilitas dan flow pada campuran hampir sama dibandingkan dengan nilai stabilitas dan flow aspal konvensional.
8. Karakteristik Marshall campuran lapis aspal beton (Laston) pada campuran memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga, dimana KAO untuk campuran aspal

konvensional dan aspal penggunaan limbah beton mutu K-250 agregat kasar masing-masing adalah 6,53% dan 7,03%.

## 5.2 Saran

Dari proses dan hasil penelitian, dapat disarankan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian tentang efektifitas dan efisiensi dari ketersediaan bahan dan biaya.
2. Penelitian selanjutnya dapat menganalisa stabilitas menggunakan campuran agregat beton daur ulang dari beberapa mutu dengan minimal mutu K-250.

## Daftar Pustaka

- [1] F. Fernando and A. J. Saputra, "Analysis of the Effect of Shear Walls on Building Structural Deviations in High-rise Buildings Monde City Tower M2 Batam City," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 3, no. 2, pp. 146–160, Dec. 2022, doi: 10.37253/jcep.v3i2.7434.
- [2] Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova, 2003.
- [3] Sukirman, *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik*. 1999.
- [4] P. H. Wibowo and D. Dony, "Comparative Study of Reinforced Concrete Beams in School Buildings Using Prestressed Concrete Beams," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 3, no. 2, pp. 169–181, Dec. 2022, doi: 10.37253/jcep.v3i2.1237.
- [5] H. Wardhana, H. \* Wibowo, and A. J. Saputra, "Analisis Pengaruh Batu Sedimen Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kuat Tekan Beton Normal," *Jurnal Aspirasi Teknik Sipil (ASPAL)*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.35438/aspal.v1i1.8.
- [6] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and C. M. Tam, "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach," *Cem Concr Res*, vol. 35, no. 6, pp. 1195–1203, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.10.025.
- [7] N. Suaryana, D. Widayat, Kurniadji, T. A. Dachian, and A. Yamin, "Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas," *J Chem Inf Model*, vol. 1, no. 9, 2002.
- [8] Jason and Indrastuti, "Analisis Perencanaan Ketebalan Perkerasan Lentur Jalan Diponegoro, Kota Batam," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 2, no. 1, pp. 53–63, 2021.
- [9] "Determination of Optimum Asphalt Cement (Binder) Content in Asphalt Concrete Pavement." [Online]. Available: [www.iiardpub.org](http://www.iiardpub.org)
- [10] M. Aminsyah, "ANALISA KEHANCURAN AGREGAT AKIBAT TUMBUKAN DALAM CAMPURAN ASPAL," 2013.
- [11] Bina Marga, *Roller-Compacted Concrete Pavement. Spesifikasi Umum*. 2018.
- [12] Ditjend Bina Marga, *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur - Pt T-01-2002-B*. 2002.