

Karakteristik *Marshall Quotient* pada *Hot Mix Asphalt* Menggunakan Agregat Melak Kutai Barat

Dewi Isroul Khoiriyah¹, Andi Marini Indriani^{2*}, Gunaedy Utomo³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Balikpapan

Email: 197011446@uniba-bpn.ac.id; andi.marini@uniba-bpn.ac.id; gunaedy@uniba-bpn.ac.id

ABSTRAK

Konstruksi perkerasan lentur jalan raya di Indonesia umumnya menggunakan agregat lokal serta aspal minyak sebagai pengikat. Hingga saat ini, belum pernah dilakukan penelitian karakteristik agregat halus sebagai pengisi lapisan AC-WC dari daerah Melak, Kutai Barat Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat kasar dan agregat halus, berupa indeks rendaman sisa pada kombinasi AC-WC dan sifat campuran marshall. Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini berupa pengujian karakteristik agregat kasar, filler, agregat halus, dan aspal, merancang komposisi pencampuran, dan melakukan pembuatan benda uji dengan menggunakan kombinasi uji AC-WC dan Marshall yang digunakan dalam kriteria Bina Marga 2018. Berdasarkan data yang diperoleh, sifat-sifat agregat Kutai Barat Melak dan kombinasi AC-WC telah memenuhi ketentuan persyaratan yang ditetapkan. Didasarkan data hasil perancangan perbandingan komposisi campuran AC-WC menggunakan agregat Kutai Barat Melak dengan kadar ideal 5,75%, dan 5,93%, didapatkan hasil dengan perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,75% dengan nilai stabilitas 1,123kg > 800kg, *flow* (Pelelehan) 2,21 mm, memenuhi di antara Min 2 mm – Maks 4 mm, VIM 3,5% memenuhi diantara Min 3% - Maks 5%, rongga terisi aspal (VFB) dengan hasil pengujian > 65% dan rongga diantara agregat (VMA) dengan hasil yaitu 15,1% > 15%.

Kata Kunci: *Asphalt, Agregat Lokal Kutai Barat, Marshall Quotient, Campuran Aspal Panas*

ABSTRACT

The construction of flexible pavement in Indonesia generally uses local aggregates and oil asphalt as a binder. Until now, no research has been conducted on the characteristics of fine aggregate as a filler for the AC-WC layer from the Melak area, West Kutai, East Kalimantan. This study aims to determine the characteristics of coarse aggregate and fine aggregate, in the form of residual soaking index on the AC-WC combination and the characteristics of the Marshall mixture. The approach used in this study was to test the characteristics of coarse aggregate, filler, fine aggregate, and asphalt, design a mixing composition, and manufacture test objects using a combination of the AC-WC and Marshall tests used in the 2018 Bina Marga criteria. Based on the data obtained, the properties of the West Kutai Melak aggregate and the AC-WC combination have met the specified requirements. Based on the data from the design comparison of AC-WC mixture composition with ideal levels of 5.75% and 5.93%, results were obtained with a comparison of Optimum Asphalt Content (OAC) of 5.75% with a stability value of 1.123kg > 800kg, flow value 2.21 mm, meets the criteria, between 2 mm – 4 mm, VIM 3.5%, meets the criteria between 3% - 5%, Void filled with Asphalt (VFB) with test results > 65% and Void in Mineral Aggregates (VMA) with a result of 15.1% > 15%.

Key words: *Asphalt, West Kutai Lokal Stone, Marshall Quotient, Hot Mix Asphalt*

Submitted:	Reviewed:	Revised	Published:
25 September 2023	15 November 2023	18 Januari 2024	01 August 2024

PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi jalan raya semakin berkembang pesat (Singh & Sahoo, 2021) karena tingkat pertumbuhan ekonomi Indonesia sehingga transportasi darat masih terus berkembang (Abidin et al., 2021). Jalan raya sering digunakan untuk jalan bervolume rendah hingga sedang dengan penggunaan yang signifikan (Khade & Wuppulluri, 2023). Jaringan jalan dan infrastruktur transportasi memegang peranan penting dalam pembangunan (Rafiq et al., 2021). Semakin banyaknya lalu lintas, semakin besar semakin besar kemungkinan struktur jalan akan retak dan terdistorsi sebelum waktunya (Pataras et al., 2017). Menjaga jaringan jalan yang efisien dan bernilai tinggi tidak hanya bergantung pada pembangunan jalan (Llopis-Castelló et al., 2020), Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk membangun konstruksi perkerasan fleksibel jalan raya yang efektif dan efisien (Karimzadeh et al., 2022) agar masyarakat dapat terus memanfaatkan jalan tersebut dengan aman dan nyaman serta tetap menjaga pengoperasiannya sebagaimana mestinya (Ilma et al., 2021).

Di Indonesia, hampir semua pembangunan jalan raya menggunakan jenis perkerasan lentur (*Flexible pavement*) (Ketema et al., 2016) menggunakan aspal minyak sebagai pengikatnya serta *filler* atau bahan pengisi campuran aspal (Adilkhodjaev et al., 2021). Dalam campuran aspal beton Agregat dan aspal merupakan bahan utama (Nugroho, 2019). Lapisan yang digunakan dalam lapisan bahan aspal tersebut bersifat kedap air (Deamayes et al., 2021), selain itu berbagai macam campuran aspal dapat digunakan untuk mendapatkan performa terbaik dari lapisan perkerasan aspal (Bancin et al., 2021) dengan menggabungkan beberapa bahan (Islam et al., 2019) yang salah satunya jika digabungkan akan memperkuat yang lain (Yue et al., 2022). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) khususnya pembuatan perkerasan jalan dalam perluasan penelitian bahan, (Singh & Sahoo, 2021) ditujukan pada inisiatif untuk penggunaan bahan-bahan yang tersedia secara lokal dan disesuaikan dengan keadaan wilayah dimana konstruksi akan dilakukan (Yacob & Wesli, 2018). Hal ini memberikan menggunakan agregat kasar dan agregat halus lokal Melak Kalimantan Timur sebagai inovasi bahan dasar *filler* atau bahan pengisi campuran aspal dengan (Alwi et al., 2020).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fikri (2021) menggunakan agregat kasar Melak Kutai Barat diketahui mematuhi norma dan

spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018 divisi 6 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) sehingga layak untuk digunakan sebagai material perkerasan jalan, tetapi penggunaan agregat halus Melak belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya. sehingga peneliti tertarik untuk menggunakan agregat kasar dan agregat halus sebagai komponen campuran terhadap perkerasan lentur *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) untuk meningkatkan pemanfaatan agregat lokal dari Melak Kutai Barat (Tumpu et al., 2020) dan membandingkan dengan penggunaan agregat palu.

Maksud dari tujuan dalam penelitian ini ialah untuk mengevaluasi dampak penggunaan agregat kasar dan agregat halus lokal Melak Kutai Barat Kalimantan Timur sebagai bahan campuran perkerasan AC-WC, mengetahui apakah agregat lokal Melak Kutai Barat Kalimantan Timur dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran perkerasan AC-WC serta mengetahui apakah perbandingan yang digunakan sebagai bahan campuran perkerasan jalan AC-WC dapat digunakan dengan agregat kasar palu dan agregat halus Melak.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil, Universitas Balikpapan dengan berpedoman kepada spesifikasi umum Bina Marga 2018 Divisi 6 (Sowolino et al., 2019), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (“American Society for Testing and Materials,” 1968) dan SNI (Standar Nasional Indonesia) (Badan Standarisasi Nasional [BSN], 2000). Proses penelitian dalam pekerjaan campuran aspal melibatkan semua tahapan yang dimulai dengan pencarian sumber bahan (Patulak et al., 2022). Sedangkan menggunakan jenis aspal penetrasi 60/70 Pertamina (Bunga et al., 2019). Pemeriksaan pada metode campuran ini meliputi agregat halus, agregat kasar, dan *filler* (bahan pengisi).

Material

Material yang digunakan untuk membuat campuran laston AC-WC dengan Material lokal Melak Kutai Barat sebagai agregat, adalah sebagai berikut:

Sampel A: Agregat halus Melak dan agregat kasar Melak.

Sampel B: Agregat halus Melak dan agregat kasar Palu.

Filler: Abu Batu.

Aspal: Aspal Penetrasi 60/70 Pertamina.

Prosedur Pelaksanaan

Secara sistematis tahapan prosedur pelaksanaan rancangan pengujian agregat kasar, agregat halus, dan filler seperti Tabel 1 sampai Tabel 3:

Tabel 1. Rancangan Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian Agregat Kasar	Jumlah Sampel	SNI
1.	Berat Jenis	3	SNI 1969-2016
2.	Penyerapan	3	SNI 1969-2016
3.	Kadar Air	3	SNI 03-1971-1990
4.	Analisa Saringan	3	SNI ASTM C 136-06 IDT
5.	Los Angeles	3	SNI 2417-2008

(sumber : Standar Nasional Indonesia)

Tabel 2. Rancangan Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian Agregat Halus	Jumlah Sampel	SNI
1.	Berat Jenis	3	SNI 1969-2016
2.	Analisa Saringan	3	SNI ASTM C 136-06 IDT
3.	Penyerapan	3	SNI 1969-2016
4.	Kadar Air	3	SNI 03-1971-1990

(sumber : Standar Nasional Indonesia)

Tabel 3. Rancangan Pengujian Filler

No	Jenis Pengujian Filler	Jumlah Sampel	SNI
1.	Berat Jenis	3	SNI 1969-2016
2.	Kadar Air	3	SNI 03-1971-1990
3.	Penyerapan	3	SNI 1969-2016

(sumber : Standar Nasional Indonesia)

Pengambilan Contoh untuk Bahan Campuran

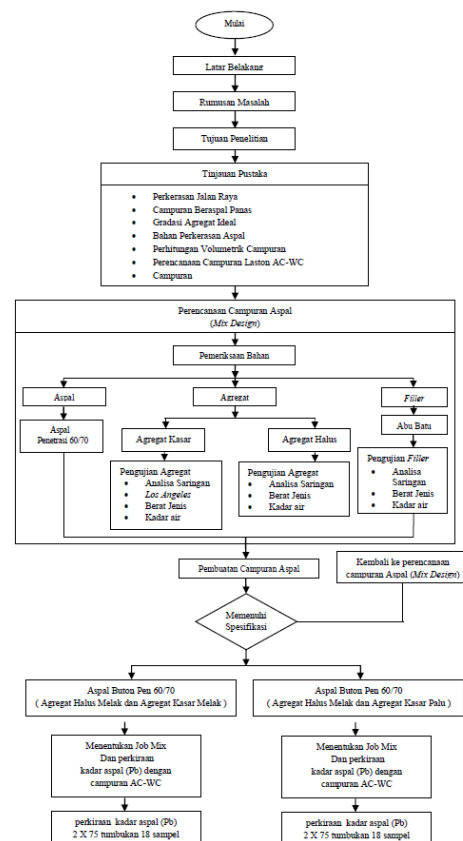
Jumlah sampel yang diambil ini di dasarkan pada kriteria jumlah penyimpangan yang diperbolehkan (dirumuskan secara statistik menggunakan kriteria variabilitas). AASTHO menetapkan 3 item tes untuk setiap presentase aspal yang digunakan.

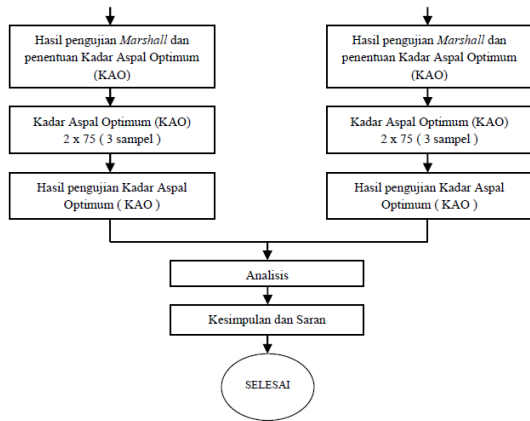
Perencanaan Sampel

Penelitian ini terdapat 3 varian kadar aspal di atas Pb (5,5%, 6,0%, dan 6,5%) dan 2 variasi kadar aspal di bawah Pb (4,0% dan 4,5%), dengan masing-masing variasi dibuat 3 benda uji menghitung prediksi kadar aspal Pb (Zarei et al., 2020). Kemudian diidentifikasi untuk memperoleh nilai kadar aspal (KAO)(Baldo et al., 2019) dengan nilai *Stabilitas Marshall* dan *Marshall Flow*(Nguyen et al., 2019)(Al-Mansoori et al., 2021), *VIM*, *VMA*, *VFA* dan *Marshall Quotient (MQ)*.

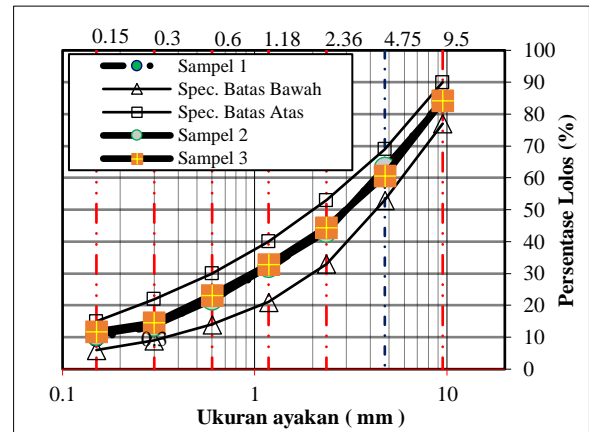
Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ditampilkan pada Gambar 1.





Gambar 1. Flowchart Penelitian

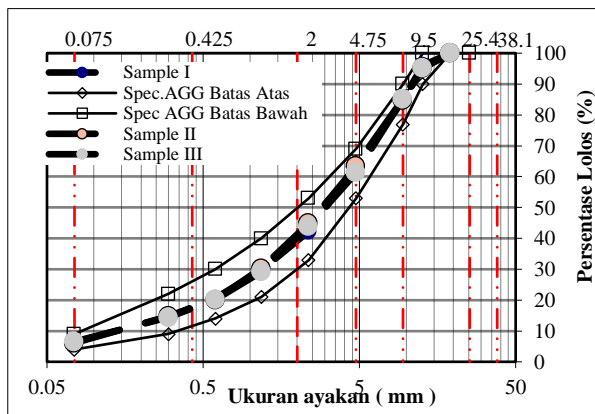


Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Halus (sumber : hasil uji)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Kasar

Dalam pengujian bahan ini akan diperiksa untuk memastikan berat jenis (*bulk*), penyerapan, kadar air, keausan agregat (*Los Angeles*), dan kadar lumpur dari agregat kasar (Utama Hadi Sutrisna, 2019). Hasil pemeriksaan ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Kasar (sumber : hasil uji)

Pengujian Agregat Halus

Tujuan dilaksanakannya pengujian ini sebagai mengukur berat jenis semu (apparent), berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan penyerapan dari agregat halus (Venisia Besouw Mecky E Manoppo & Ch Palenewen, 2019). Hasil pemeriksaan ditampilkan pada Gambar 3 berikut ini:

Pengujian Filler

Hasil pemeriksaan ditampilkan pada Tabel 4. Dapat diketahui bahwa berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pengujian filler memenuhi semua standar yang ditetapkan.

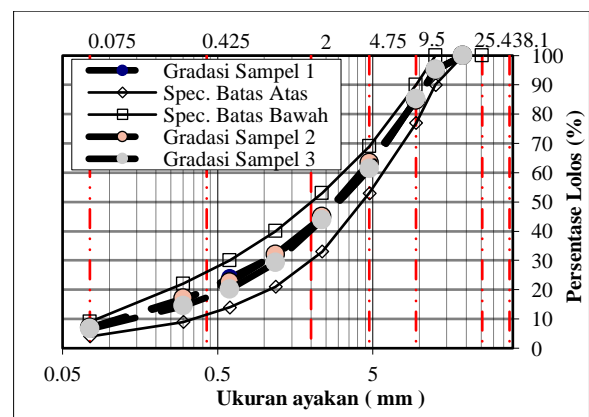
Tabel 4. Hasil Pengujian *filler*.

Pengujian	Rerata	Spesifikasi	Keterangan
Berat jenis (<i>bulk</i>)	2,559	>2,5 gr/cm ³	Memenuhi
Kadar Lumpur	68,54	Max 75%	Memenuhi
Penyerapan	0,807	≤ 3%	Memenuhi

(sumber : hasil uji)

Gradasi Agregat (Metode Gradasi Ideal)

Gradasi ideal dinyatakan dalam nilai persen (%) yang memiliki arti sebagai sebaran variasi ukuran butir berdasarkan spesifikasi nilai titik tengah. Dengan begitu maka diperkirakan komposisi pencampuran AC-WC Laston dengan gradasi idealnya memperoleh nilai persentase agregat kasar 57,00%, agregat halus 36,50%, dan *filler* 6,5%, akan menghasilkan rongga-rongga yang diperlukan. Berikut gradasi agregat yang diilustrasikan pada Gambar 4 secara rinci untuk pengujian ini :



Gambar 4. Grafik Gradasi Ideal (sumber : hasil uji)

Perhitungan Perkiraan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Untuk memperoleh kadar aspal (Pb) Berdasarkan gradasi agregat gabungan dapat dihitung dengan perencanaan sebagai berikut:
 Kadar Aspal Rencana (Pb)
 $= 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler)$
 $+ K$
 $= 0,035 (57,0) + 0,045 (36,5) + 0,18 (6,5) + 0,8$
 $= 5,61\% \text{ --- dibulatkan menjadi } 6,0\%.$

Hasil Uji Marshall Berdasarkan Nilai Kadar Aspal Rencana

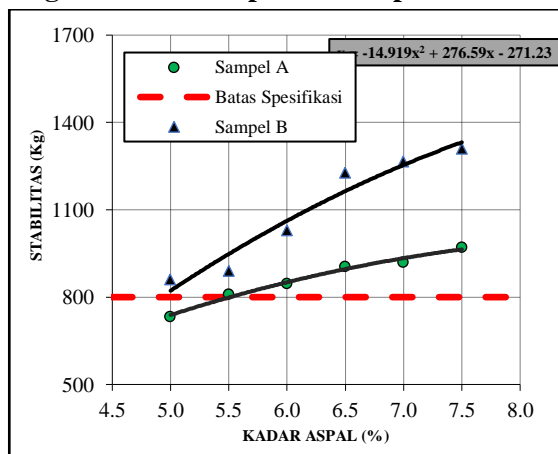
Uji Campuran dengan alat *Marshall*, berdasarkan pada Standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6. Dalam penelitian ini dibuat 18 sampel untuk setiap varian kombinasi campuran, dengan kadar aspal yang diberikan dimulai dari 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6,5%, 7.0%, dan 7,5% dengan interval 0,5%. Hasil uji ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Parameter *Marshall* Laston AC-WC.

Parameter <i>Marshall</i>	Satuan	Kadar Aspal						Spesifikasi
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	AC-WC
Stabilitas	(Kg)	733	809	846	905	919	971	Min 800
Flow	(mm)	2,05	2,35	2,42	2,69	3,42	4,16	Min 2
								Max 4
VIM	(%)	5,3	4,3	3,0	2,4	1,0	0,2	Min 3
								Max 5
VMA	(%)	15,9	16,0	15,9	16,4	16,2	16,5	Min 15
VFB	(%)	66,5	73,1	81,1	85,3	93,9	98,7	Min 65

(sumber : hasil uji)

Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas

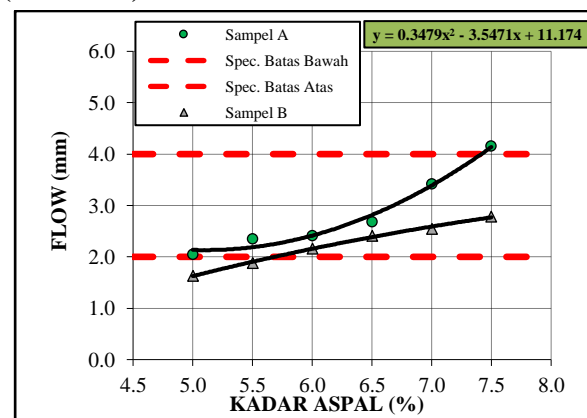


Gambar 5. Grafik Perbandingan Stabilitas (sumber : hasil uji)

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa Nilai stabilitas bertambah tinggi sejalan dengan bertambahnya kadar aspal karena semakin banyak aspal yang menutupi agregat, yang menambah kohesi dan density campuran, serta meningkatkan area kontak dan saling mengunci antara agregat, yang mana keduanya akan menaikkan nilai stabilitas campuran (Marshall, 2023). Pada sampel B lebih baik dibandingkan pada sampel A. Karena nilai stabilitas minimum pada sampel B dengan kadar aspal 5,0 (%) berada diatas batas spesifikasi yaitu 809 kg. Sedangkan pada sampel A kadar aspal 5,0% nilai

stabilitas berada di bawah batas minimum spesifikasi dengan nilai stabilitas 733 kg.

Pengaruh Kadar Aspal terhadap Flow (Pelelehan)



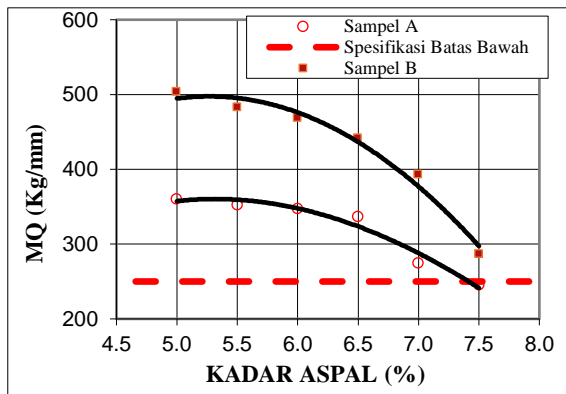
Gambar 6. Grafik Perbandingan Flow (Pelelehan) (sumber : hasil uji)

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan menyatakan bahwa nilai flow bertambah sejalan dengan penambahan kadar aspal. Penambahan aspal pada campuran menjadikannya semakin bersifat plastis, yang akan memperbesar besaran deformasi akibat pembebanan dan menghasilkan peningkatan nilai hasil kelelehan (Marshall, 2023). Pada sampel A lebih baik dibandingkan dengan sampel B. Dapat terlihat bahwa beberapa nilai Flow (pelelehan) sampel B tidak memenuhi spesifikasi yaitu pada kadar aspal 5,0% sebesar 1,633 mm dan pada kadar aspal 5,5% sebesar 1,883 mm. Nilai flow untuk

laston AC-WC yang ditetapkan menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 adalah 2 - 4 mm.

Marshall Quotient (MQ)

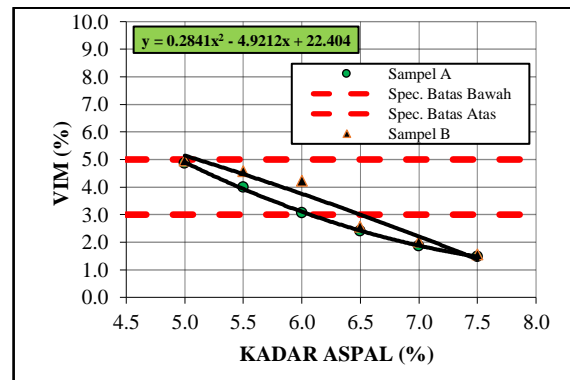
Nilai Marshall Quotient menunjukkan perkiraan kekakuan dan kelenturan campuran perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan (Flow). Campuran akan menjadi lebih kaku dengan semakin tingginya jika Marshall Quotient (MQ). Maka dan demikian sebaliknya, semakin lentur perkerasannya nilai Marshall Quotient (MQ) menjadi lebih kecil (Marshall, 2023). Campuran nilai aspal beton dapat memiliki kelenturan dan daya tahan yang dibutuhkan oleh beban lalu lintas sehingga nilai MQ perlu ditetapkan atau dibatasi. Grafik ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Marshall Quotient (MQ) (sumber: hasil uji)

Berdasarkan analisis data nilai MQ dari dua sampel (Gambar 6) Nilai Marshall quotient (MQ) menurun beriringan dengan peningkatan kadar aspal. campuran bersifat plastis jika kadar aspal meningkat dan kemudian dapat menurunkan nilai MQ pada pencampuran beton aspal. (Marshall, 2023). Keseluruhan hasilnya memenuhi spesifikasi terkait dengan persyaratan sifat-sifat campuran laston nilai MQ > 250kg/mm pada RSNI 03-1737-1989 dan pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas (2007) Nilai yang paling tinggi pada sampel B yaitu (503,76 kg/mm), dikarenakan rendahnya nilai flow pada sampel tersebut sehingga faktor pembagiannya kecil. Tingginya nilai MQ menunjukkan bahwa pencampuran tersebut sangatlah bersifat kaku.

Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Void in Mixture (VIM)

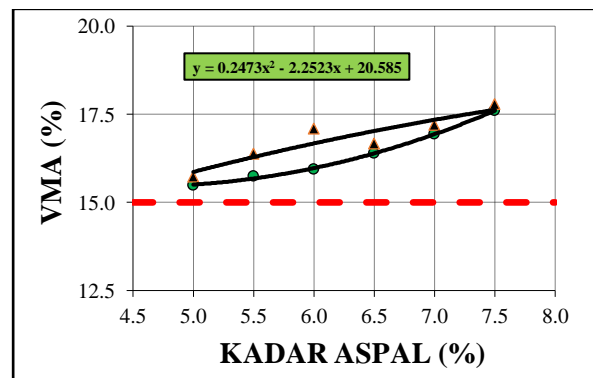


Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Void In Mixture (VIM) (sumber : hasil uji)

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai Void in Mixture (VIM) pada sampel A dan sampel B turun beriringan bersama meningkatnya campuran kadar aspal, semakin banyaknya aspal yang mengisi celah-celah dan menutup agregat sehingga mengurangi jumlah ruang yang tersisa dalam campuran. Besarnya pemadatan, temperatur, dan gradasi agregat merupakan faktor tambahan yang mempengaruhi nilai VIM selain kadar aspal (Marshall, 2023).

Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA)

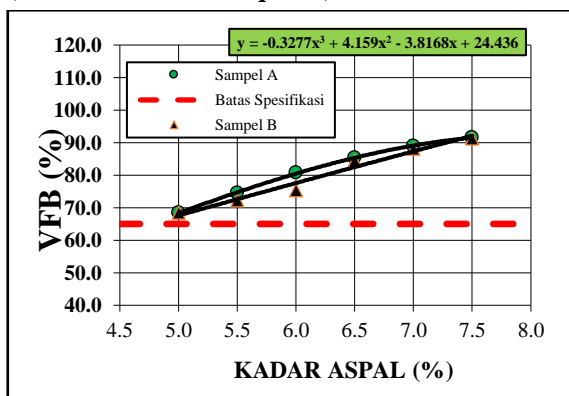
VMA ditampilkan secara nilai presentase dari volume total yang merupakan kadar aspal efektif dan ruang antar butiran agregat aspal padat. Faktor gradasi agregat, pemadatan, dan kadar aspal semuanya berpengaruh terhadap nilai VMA. Daya tahan suatu campuran akan dipengaruhi oleh angka VMA yang terlalu rendah, sedangkan nilai VMA yang terlalu tinggi kemungkinan akan berdampak buruk pada stabilitas dan membuat produksi menjadi tidak praktis.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) (sumber : hasil uji)

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) pada sampel A dan sampel B semakin meningkat. Hal ini menghasilkan jarak yang dihasilkan menjadi lebih jauh antar agregat, yang berdampak pada peningkatan nilai VMA. Dikarenakan lapisan aspal semakin tebal dan melapisi agregat (Marshall, 2023). Akan tetapi, nilai pada sampel B lebih baik dibandingkan nilai pada sampel A yaitu, dengan nilai minimum 15,7% pada kadar aspal 5,0% dan nilai maksimum 17,6% pada kadar aspal 7,5%. Dan kedua nilai pada *Void in Mineral Aggregate* (VMA) memenuhi yang dimana syarat VMA minimum berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 adalah 15,0%.

Pengaruh Kadar Aspal terhadap Nilai VFB (*Voids Filled with Asphalt*)



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFB) (sumber : hasil uji)

Berdasarkan Gambar 10 hasil penelitian membuktikan semakin efektif aspal yang masuk ke dalam ruang rongga dan menyelimuti campuran aspal, semakin tinggi kadar aspal yang dipergunakan. Terlihat seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran pada sampel A dan sampel B nilai VFB terus meningkat (Widianty et al., 2018). Syarat VFB dalam pencampuran AC-WC minimal 65,0% berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6. Hal ini ditunjukkan bahwa kadar aspal 5,0% sampai dengan 7,5% mencapai syarat kriteria yaitu memiliki nilai VFB 66,2%, 73,1%, 79,2%, 86,8%, 94,1% dan 95,8%.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Pengaruh perbandingan penggunaan agregat kasar, dan agregat halus Melak sebagai bahan campuran perkerasan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) terhadap agregat Melak, Kutai Barat memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina

Marga 2018 Divisi 6 sebagai komponen campuran aspal berdasarkan hasil pengujian memenuhi kriteria yang diperlukan untuk dilaksanakan atau digunakan dilapangan sebagai acuan dalam membuat rumus bauran pekerjaan. Dimana didapatkan hasil yang lebih baik yaitu dengan perbandingan penggunaan agregat halus Melak dan Agregat Kasar Melak dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,75% dengan nilai stabilitas 1,123kg > 800kg, *flow* (Pelelehan) 2,21 mm, memenuhi diantara Min 2 mm – Maks 4 mm, VIM 3,5% memenuhi diantara Min 3% - Maks 5%, rongga terisi aspal (VFB) dengan hasil pengujian 15,1% > 65% dan rongga diantara agregat (VMA) dengan hasil yaitu 15,1% > 15%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Bunyamin, B., & Kurniasarir, F. D. (2021). Uji Marshall pada Campuran AC-WC dengan Substitusi Filler. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(1), 1631–1638.
<https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- Adilkhodjaev, A., Kadyrov, I., & Rasulmukhamedov, A. (2021). Research of porosity of a cement stone with a zeolite containing filler and a superplastic stificator. *E3S Web of Conferences*, 264, 0–6.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402007>
- Al-Mansoori, T., Dulaimi, A., Shanbara, H. K., & Musa, S. S. (2021). Marshall Parameters of Hot Mix Asphalt with Variable Filler Types and Aggregate Gradations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1090(1), 012038.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/1090/1/012038>
- Alwi, S., Putrawirawan, A., & Hidayat, R. (2020). Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit sebagai Filler terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda*, 12(2), 17–24.
- American Society for Testing and Materials. (1968). *Analytical Chemistry*, 40(6), 150A–150A.
<https://doi.org/10.1021/ac60262a859>
- Baldo, N., Manthos, E., & Miani, M. (2019). Stiffness Modulus and Marshall Parameters of Hot Mix Asphalts: Laboratory Data Modeling by Artificial Neural Networks Characterized by Cross-Validation. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(17).

- <https://doi.org/10.3390/app9173502>
- Bancin, E. D. L., Lubis, K., & Mahda, N. (2021). Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Ac-Bc Terhadap Nilai Marshall. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(1), 17–25.
- <https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i1.5072>
- Besouw, G. V., Manoppo, M. R., & Palenewen, S. C. N. (2019). Pengaruh Modulus Kehalusan Agregat Terhadap Penentuan Kadar Aspal Pada Campuran Jenis AC-WC. *Jurnal Sipil Statik*, 7(4), 481–490.
- <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/js/article/view/23397/0>
- Bunga, D. N., Rachman, R., & Selintung, M. (2019). Effect of Collision Variation towards the Index Retained Strength of Mixed Asphalt Concrete Wearing Course. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 3(8), 61–64.
- <https://doi.org/10.5281/zenodo.3408003>
- Deamayes, Alpius, & Kamba, C. (2021). Pemanfaatan Batu Sungai Melli Kecamatan Baebunta Kabupaten Luwu Utara Dalam Campuran AC-WC. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(1), 85–91.
- <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i1.210>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2*, 6.1-6.104.
- Ilma, N., Munajir, A., & Purnomo, H. (2021). *Karakteristik Marshall Campuran AC-WC dengan Bahan Tambahan Abu Batu Menggunakan Agregat Lokal Senoni Kabupaten Kutai Kartanegara Dalam Aspal Penetrasi 60/70. Kurva Mahasiswa*, 12(3), 89-96.
- <http://ejournal.untag-smd.ac.id/index.php/TEK/article/view/6311>
- Islam, M. R., Kalevela, S. A., & Mendel, G. (2019). How the mix factors affect the dynamic modulus of hot-mix asphalt. *Journal of Composites Science*, 3(3), 1–9.
- <https://doi.org/10.3390/jcs3030072>
- Karimzadeh, A., Shoghli, O., Sabeti, S., & Tabkhi, H. (2022). Multi-Asset Defect Hotspot Prediction for Highway Maintenance Management: A Risk-Based Machine Learning Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9).
- <https://doi.org/10.3390/su14094979>
- Ketema, Y., Quezon, P. E. T., & Kebede, G. (2016). Cost and Benefit Analysis of Rigid and Flexible Pavement: A Case Study at Chancho –Derba-Becho Road Project. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7(10), 181–188.
- Khade, V., & Wuppulluri, M. (2023). A comparative study on rigid and flexible magnetoelectric composites: Review. *Journal of Advanced Dielectrics*, 13(3), 84–88.
- <https://doi.org/10.1142/S2010135X23400015>
- Llopis-Castelló, D., García-Segura, T., Montalbán-Domingo, L., Sanz-Benlloch, A., & Pellicer, E. (2020). Influence of pavement structure, traffic, and weather on urban flexible pavement deterioration. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20.
- <https://doi.org/10.3390/su12229717>
- Nofrianto, H., & Astika, S. D. (2023). Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC). *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, 1(2), 53-66.
- <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.7>
- Nguyen, H. L., Le, T. H., Pham, C. T., Le, T. T., Ho, L. S., Le, V. M., Pham, B. T., & Ly, H. B. (2019). Development of hybrid artificial intelligence approaches and a support vector machine algorithm for predicting the marshall parameters of stone matrix asphalt. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(15).
- <https://doi.org/10.3390/app9153172>
- Nugroho, M. S. (2019). Karakteristik Marshall Quotient Pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Alam Sungai Opak. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 15(2), 84-91.
- <https://doi.org/10.21831/inersia.v15i2.28627>
- Nurdin, A., Erlangga, E., & Nuklirullah, M. (2023). AC-WC Strength Analysis with the Marshall Method on Fly Ash Mixture as a Substitute for Stone Ash Materials. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 7(2), 161–165.
- <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.9190>
- Pataras, M., Dewi, R., Prasetya, A. D., & Bazidno, F. D. (2017). Pemanfaatan Karet Mentah pada Flexible Pavement Laston AC-WC dan Lataston HRS-WC. *Cantilever*, 6(1).
- <https://doi.org/10.35139/cantilever.v6i1.51>
- Patulak, A. D., Alpius, & Palinggi, M. D. M. (2022). Pemanfaatan Batu Gunung Osu Lombebua Kabupaen Konawe Selatan Untuk Campuran Laston Lapisan Aus. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(1), 88–96.

- <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.381>
- Rafiq, W., Musarat, M. A., Altaf, M., Napiah, M., Sutanto, M. H., Alaloul, W. S., Javed, M. F., & Mosavi, A. (2021). Life cycle cost analysis comparison of hot mix asphalt and reclaimed asphalt pavement: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8).
<https://doi.org/10.3390/su13084411>
- Singh, A. K., & Sahoo, J. P. (2021). Rutting prediction models for flexible pavement structures: A review of historical and recent developments. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(3), 315–338.
<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.003>
- Sowolino, B. O., Hadi, P. L., Mujahid, Z., & Santosa, W. (2019). Kajian Perubahan Manual Supervisi Jalan dengan Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga. *Jurnal Transportasi*, 19(3), 151-160.
<https://doi.org/10.26593/jtrans.v19i3.3667>. 151-160
- Tumpu, M., Tjaronge, M. W., Djamaluddin, A. R., Amiruddin, A. A., & One, L. (2020). Effect of limestone and buton granular asphalt (BGA) on density of asphalt concrete wearing course (AC-WC) mixture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012029>
- Sutrisna, I. G. U. H. (2019). Analisis Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (Material Batuan di Tiga Kabupaten Pulau Lombok). *Jurnal Sangkareang Mataram*, 5(1), 31-33.
<http://www.untb.ac.id/Maret-2019>
- Widianty, D., Wahyudi, M., & Setiawan, A. (2018). Kinerja Campuran Beton Aspal Wearing Course dengan Tambahan Serbuk Serat Pelepah Batang Pisang. *Spektrum Sipil Vol 5*, 5(1), 11–22.
<https://spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/104>
- Yacob, M., & Wesli, W. (2018). Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur dan Abu Tempurung Kelapa terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Beton AC-BC. *Teras Jurnal*, 7(1), 213.
<https://doi.org/10.29103/tj.v7i1.127>
- Yue, Y., Abdelsalam, M., & S. Eisa, M. (2022). Aggregate Gradation Variation on the Properties of Asphalt Mixtures. *Coatings*, 12(11), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/coatings12111608>
- Zarei, M., Akbarinia, F., Rahmani, Z., Zahedi, M., & Zarei, A. (2020). Economical and Technical Study on the Effect of Carbon Fiber with High Strength on Hot Mix Asphalt (HMA). *Electronic Journal of Structural Engineering*, 20(1), 6–12.
<https://doi.org/10.56748/ejse.20240>