

PENGARUH GRADASI AGREGAT TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PANAS AC-WC BERDASARKAN PENGUJIAN MARSHALL

Hendri Nofrianto^{1*}, Yogi Aprilio², Mulyati³

¹²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang

³Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author E-mail: hendrinofrianto63@gmail.com

Abstract

The development of quality road infrastructure is a key factor in supporting economic growth and inter-regional connectivity. This study aims to analyze the basic characteristics of aggregates and the effect of variations in size and distribution of aggregates on the performance of hot asphalt mixes. Fine and coarse aggregate samples were obtained from two quarry locations, namely Batang Atokan (Pasaman) and Gunung Nago (Padang), by testing using the Marshall method. The results showed that the aggregate from Sungai Atokan Quarry had the highest maximum stability of 1440.99 kg at 5% asphalt content, and showed the highest Marshall Quotient (MQ) value of 371.66 kg/mm. In contrast, Gunung Nago Quarry achieved the highest stability of 1211.93 kg at 7% asphalt content, but experienced a decrease in the VIM value below the specification limit at high asphalt content, indicating a risk of bleeding. The optimum asphalt content value for each quarry was 6.5% for Sungai Atokan and 6.0% for Gunung Nago. Comparative analysis shows that the mixture from the Atokan River Quarry is stiffer, more resistant to deformation, and suitable for heavy traffic, while the mixture from Mount Nago is more plastic and sensitive to excess asphalt content. The results of this study are expected to serve as a technical reference in aggregate selection and hot asphalt mix planning to improve road pavement quality in West Sumatra.

Keywords: gradation, aggregate, marshall test, optimum asphalt content (kao), hot mix asphalt (hotmix)

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas menjadi faktor kunci dalam menunjang pertumbuhan ekonomi dan konektivitas antarwilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dasar agregat dan pengaruh variasi ukuran serta distribusi agregat terhadap kinerja campuran aspal panas. Sampel agregat halus dan kasar diperoleh dari dua lokasi quarry, yaitu Batang Atokan (Pasaman) dan Gunung Nago (Padang), dengan pengujian menggunakan metode Marshall. Hasil menunjukkan bahwa agregat dari Quarry Sungai Atokan memiliki stabilitas maksimum tertinggi sebesar 1440,99 kg pada kadar aspal 5%, dan menunjukkan nilai Marshall Quotient (MQ) tertinggi sebesar 371,66 kg/mm. Sebaliknya, Quarry Gunung Nago mencapai stabilitas tertinggi 1211,93 kg pada kadar aspal 7%, namun mengalami penurunan nilai VIM hingga di bawah batas spesifikasi pada kadar aspal tinggi, menandakan risiko bleeding. Nilai kadar aspal optimum masing-masing quarry diperoleh sebesar 6,5% untuk Sungai Atokan dan 6,0% untuk Gunung Nago. Analisis perbandingan menunjukkan bahwa campuran dari Quarry Sungai Atokan lebih kaku, tahan deformasi, dan cocok untuk lalu lintas berat, sedangkan campuran dari Gunung Nago lebih plastis dan sensitif terhadap kelebihan kadar aspal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pemilihan agregat dan perencanaan campuran aspal panas guna meningkatkan kualitas perkerasan jalan di Sumatera Barat.

Kata kunci: gradasi, agregat, marshall test, kadar aspal optimum (kao), campuran panas aspal (hotmix)

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas menjadi faktor kunci dalam menunjang pertumbuhan ekonomi dan konektivitas antarwilayah. Salah satu elemen penting dalam konstruksi

perkerasan lentur adalah campuran aspal panas (Hot Mix Asphalt/HMA), khususnya jenis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) yang berfungsi sebagai lapis aus atau lapis permukaan jalan. Kinerja dari lapisan ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan penyusunnya, terutama gradasi agregat.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran partikel agregat dalam suatu campuran dan memiliki peran penting dalam menentukan stabilitas, keawetan, dan daya tahan terhadap deformasi permanen (rutting) pada campuran aspal. Gradasi yang baik akan menghasilkan susunan partikel yang padat dan saling mengunci (interlocking), sehingga mampu meningkatkan kekuatan struktural dan kinerja jangka panjang perkerasan (Brown et al., 2009).

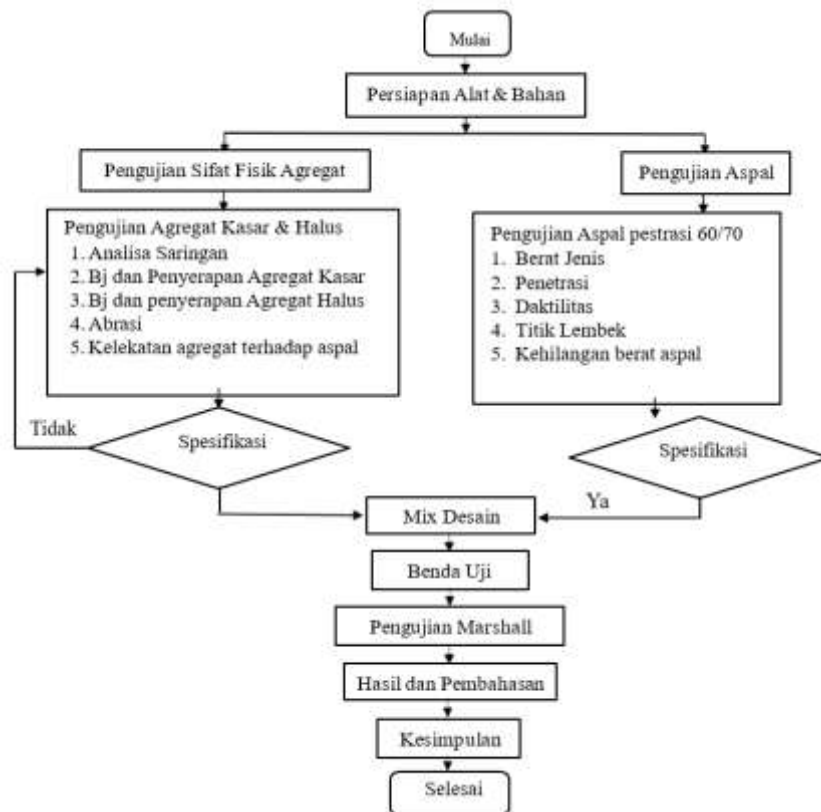
Menurut Roberts et al. (1996), gradasi agregat berpengaruh langsung terhadap parameter Marshall seperti stabilitas, kelelahan, dan nilai VIM (Void in Mix). Campuran dengan gradasi rapat cenderung menghasilkan stabilitas yang tinggi, namun nilai rongga udara yang rendah dapat mengurangi daya tahan terhadap kerusakan akibat air. Sebaliknya, campuran dengan gradasi terbuka berpotensi meningkatkan nilai VIM, tetapi dapat mengurangi kekuatan dan stabilitas campuran.

Penelitian oleh Sjahrudin et al. (2013) menunjukkan bahwa perubahan komposisi agregat halus dan kasar dalam campuran AC-WC akan berdampak signifikan terhadap nilai Marshall Stability dan Flow, yang pada akhirnya memengaruhi kinerja lapisan permukaan jalan. Demikian pula, Kosasih (2015) menyatakan bahwa campuran aspal dengan gradasi agregat yang tidak sesuai spesifikasi akan menghasilkan campuran yang mudah mengalami deformasi permanen dan kerusakan dini.

Dengan pentingnya peran gradasi dalam campuran aspal, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi gradasi agregat terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC, meliputi Stability, Flow, VIM, VMA (Void in Mineral Aggregate), dan VFB (Void Filled with Bitumen). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan gradasi agregat yang optimal sesuai spesifikasi Bina Marga serta meningkatkan kualitas dan umur layan perkerasan jalan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir gambar 1 berikut:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari material yang digunakan, pemeriksaan ini terdiri dari pemeriksaan agregat batu pecah dari ukuran 19 mm sampai dengan saringan 200, abu batu dan pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 sebagai pemeriksaan awal atau dasar untuk bahan pembuatan benda uji dan pemeriksaan benda uji dengan alat Marshall sebagai tujuan pokok penelitian. Campuran panas aspal agregat yang akan di Analisa adalah pengaruh gradasi agregat terhadap pengujian parameter *Marshall* dapat dilihat beberapa nilai yang terdiri dari nilai stabilitas, flow, VMA, VMI, VFA, MQ dan density

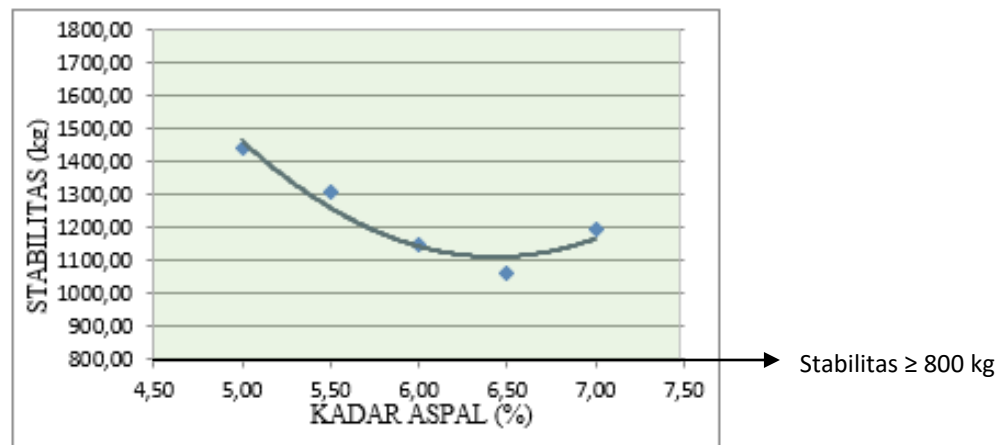
Hasil Analisis Karakteristik Marshall Berdasarkan Variasi Kadar Aspal

Dalam pengujian parameter *Marshall* dapat dilihat beberapa nilai yang terdiri dari nilai stabilitas, flow, VMA, VMI, VFA, MQ dan density. Dari nilai rata-rata hasil pegujian tersebut didapatkan kadar aspal optimum.

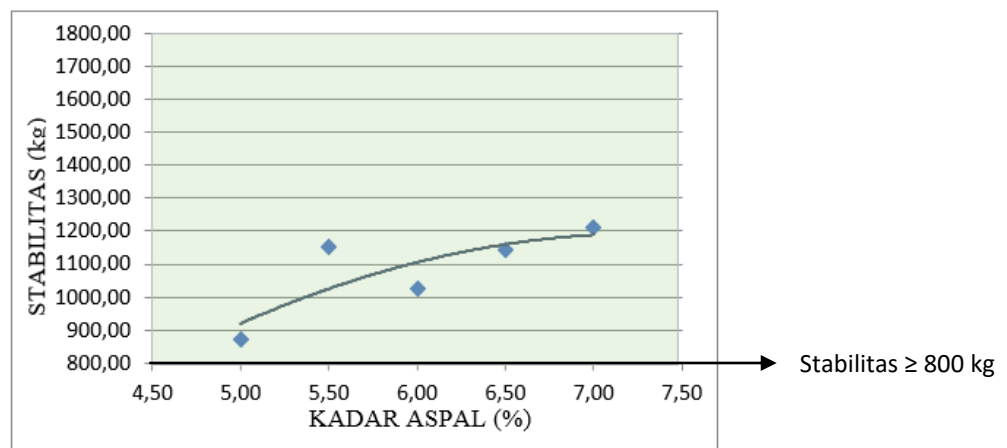
a. Stabilitas

Stabilitas adalah kekuatan maksimum campuran aspal menahan beban sebelum terjadi perubahan bentuk (*deformasi*) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun naiknya aspal kepermukaan

(bleeding). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kualitas agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat.



Gambar 1. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas (Quarry Atokan)

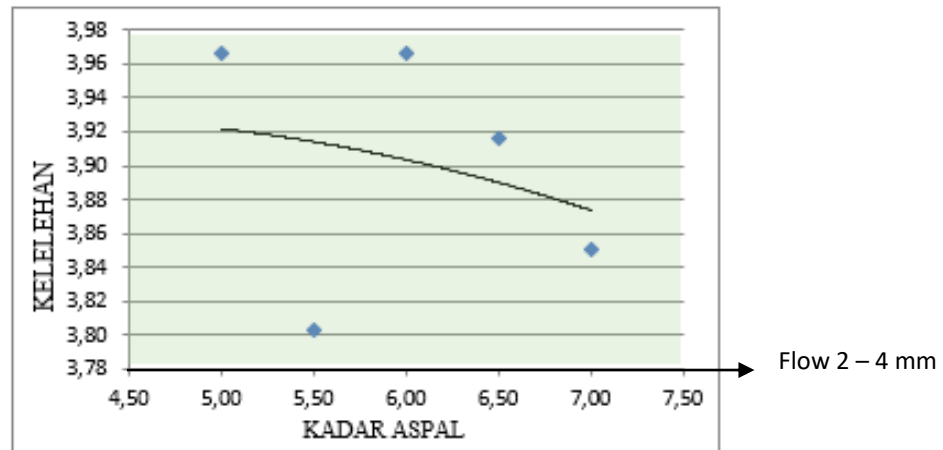


Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas (Quary Gunung Nago)

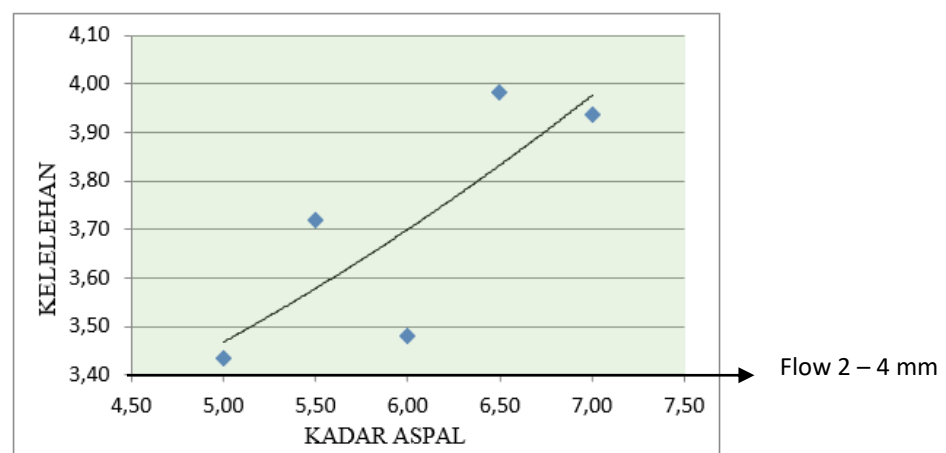
Pada **Gambar 1 dan 2** diatas dapat dilihat nilai stabilitas pada quarry Gunung Nago lebih besar dibandingkan dengan nilai stabilitas quarry Sungai Atokan. Besarnya nilai stabilitas dipengaruhi oleh rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam garegat (VMA) yang dimiliki agregat semakin kecil. Berdasarkan **Gambar 1 dan 2** grafik hubungan nilai stabilitas dengan kadar aspal semua memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan ≥ 800 kg.

b. Kelelahan (Flow)

Kelelahan adalah perubahan bentuk campuran saat menerima beban maksimum. Nilai *flow* mempengaruhi *fleksibilitas* campuran dimana berdasarkan klasifikasi Bina Marga 2018 menentukan batas flow 2-4%. Nilai *flow* yang tinggi dan stabilitas rendah menunjukkan *fleksibilitas* campuran tinggi, jika nilai *flow* rendah dan stabilitas tinggi menunjukan campuran kaku, sedangkan campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas rendah akan memiliki sifat plastis yang mengakibatkan campuran mudah berubah bentuk apabila menerima beban.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (Quarry Atokan)

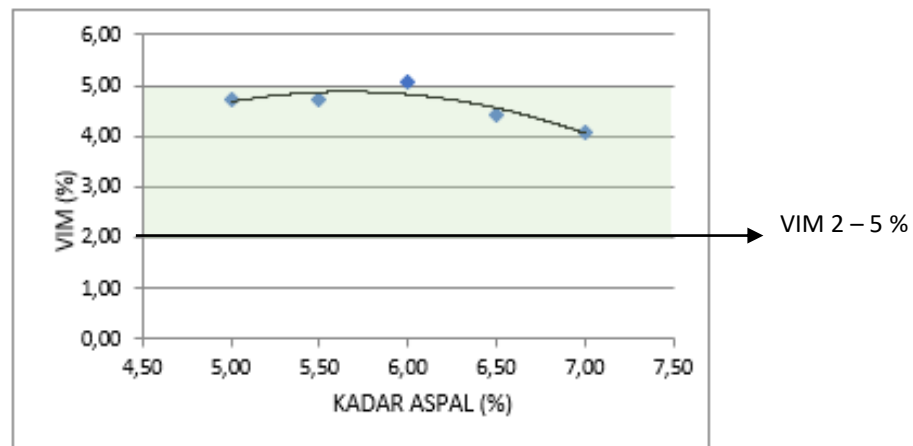


Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (Quary Gunung Nago)

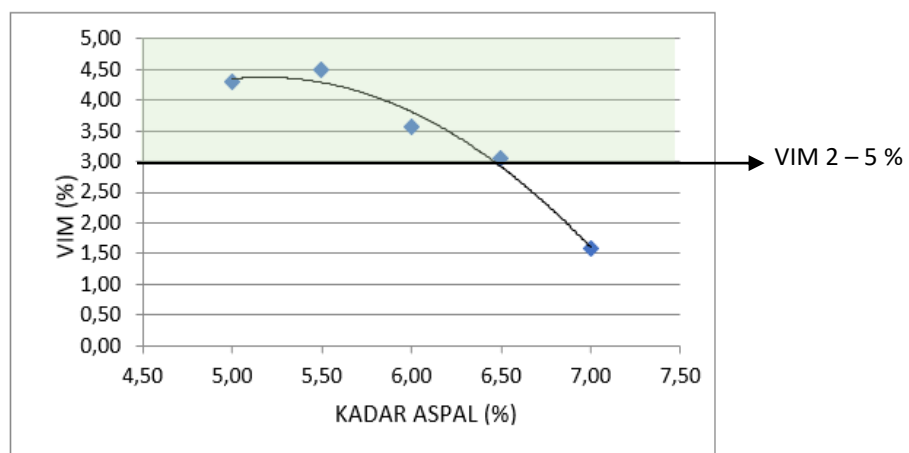
Pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** di atas, dapat dilihat bahwa nilai flow dari Quarry Sungai Atokan dan Quarry Gunung Nago semuanya berada dalam rentang spesifikasi yang ditetapkan yaitu 2–4 mm. Nilai flow menunjukkan deformasi horizontal campuran akibat beban. Flow yang sesuai spesifikasi menunjukkan bahwa campuran memiliki fleksibilitas yang cukup terhadap deformasi tanpa menyebabkan retak. Meskipun terdapat sedikit variasi, kedua quarry tetap memenuhi standar flow yang dipersyaratkan.

c. VIM (*Void In The Mix*)

VIM merupakan persentase rongga udara dalam campuran. Nilai VIM semakin tinggi mengidentifikasi semakin besarnya rongga dalam campuran, sehingga campuran bersifat porous, memudahkan masuknya air dan mengurangi keawetan.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM (Quarry Atokan)

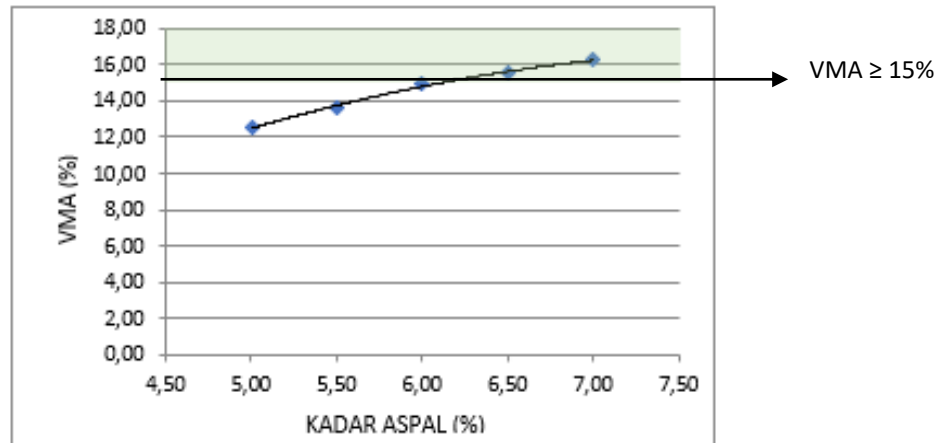


Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM (Quarry Gunung Nago)

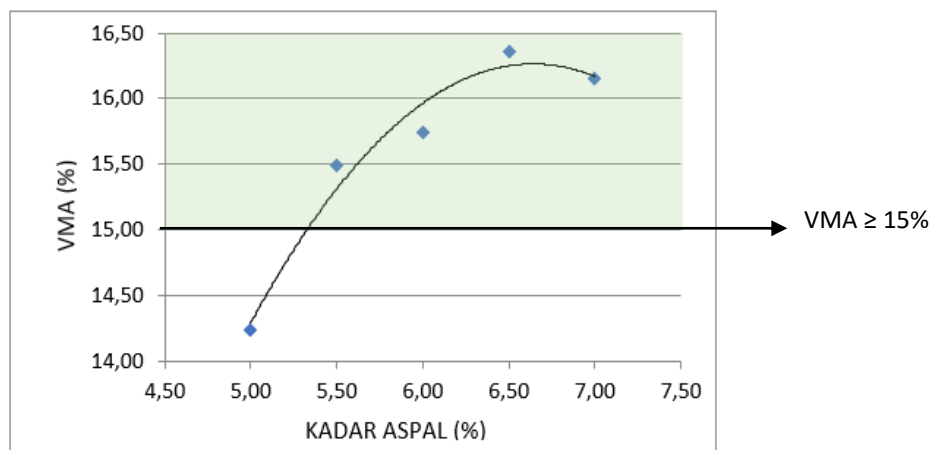
Pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**, terlihat bahwa nilai VIM dari Quarry Sungai Atokan pada semua kadar aspal berada dalam batas 3–5% yang ditentukan. Sementara pada Quarry Gunung Nago, nilai VIM pada kadar aspal 6,5% dan 7% turun hingga di bawah batas minimum, terutama pada kadar 7% dengan nilai hanya 1,58%. VIM yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan bleeding, sedangkan VIM yang terlalu tinggi membuat campuran lebih rapuh. Oleh karena itu, campuran dari Quarry Gunung Nago dengan kadar aspal 6,5% ke atas dinyatakan tidak memenuhi spesifikasi.

d. VMA (Void In Mineral Agregat)

VMA adalah rongga udara antara butiran agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang merupakan persen volume rongga dalam agregat yang terdiri oleh aspal. Nilai minimum rongga dalam agregat yang dimaksud untuk menghindari banyaknya rongga udara dari nilai VMA tergantung pada ukuran mineral agregat, tekstur permukaan agregat, bentuk partikel agregat dan metode pemadatannya.



Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA (Quarry Atokan)



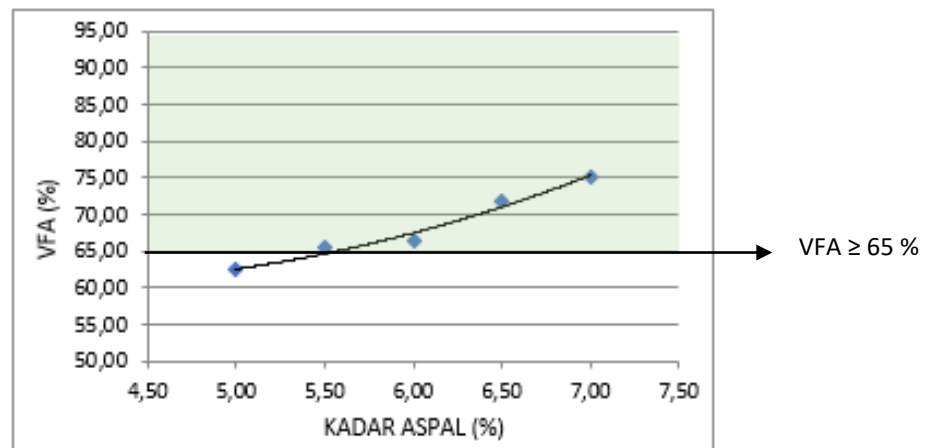
Gambar 8. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA (Quarry Gunung Nago)

Pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**, nilai VMA dari Quarry Sungai Atokan pada kadar aspal 5% dan 5,5% belum memenuhi spesifikasi minimum $\geq 15\%$, dengan nilai hanya sekitar 12,52% dan 13,61%. VMA mulai memenuhi spesifikasi pada kadar 6% ke atas. Sedangkan pada Quarry Gunung Nago, seluruh kadar aspal menunjukkan nilai VMA di atas 15%, sehingga seluruhnya memenuhi syarat. VMA menggambarkan total rongga dalam susunan agregat, yang harus cukup besar untuk diisi aspal guna memberikan daya tahan terhadap kerusakan.

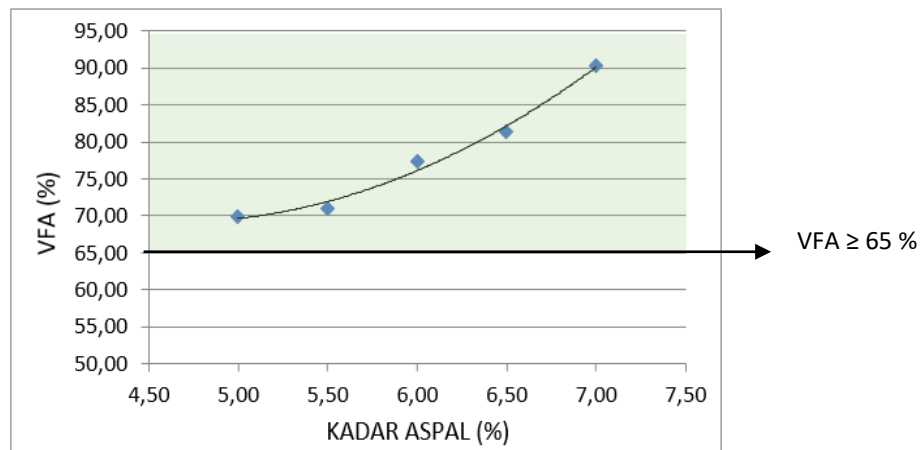
e. VFA (Void Filled Asphalt)

VFA adalah persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Besarnya nilai VFA menjadikan nilai yang terisi aspal cukup banyak sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih tinggi. Faktor yang mempengaruhi VFA yaitu kadar aspal, gradasi agregat, kekuatan pemadatan (jumlah tumbukan dan temperature pemadatan) dan penyerapan agregat.

Jika nilai VFA terlalu tinggi menyebabkan aspal naik ke permukaan pada temperatur tinggi, sebaliknya jika VFA terlalu rendah maka kedapatan perkerasan akan semakin mengecil karena rongga yang tersedia cukup besar sehingga mudah terjadinya pelepasan butiran.



Gambar 9. Hubungan Kadar Aspal dengan VFA (Quarry Atokan)



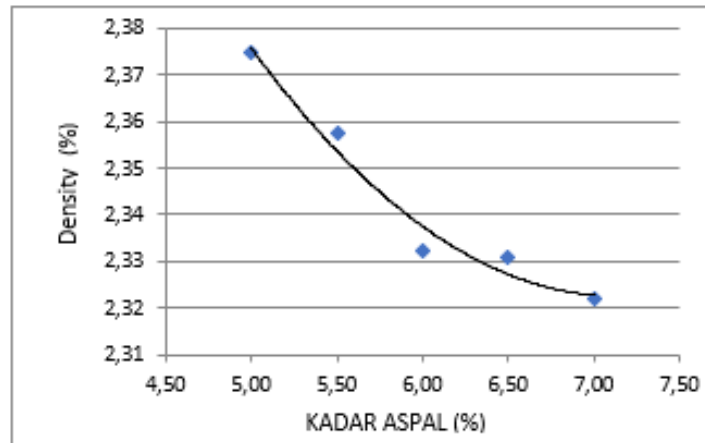
Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFA (Quarry Gunung Nago)

Berdasarkan **Gambar 9** dan **Gambar 10**, terlihat bahwa nilai VFA Quarry Sungai Atokan pada kadar aspal 5% (62,37%) tidak memenuhi spesifikasi minimum 65%. Namun pada kadar 5,5% ke atas, nilai VFA sudah sesuai. Untuk Quarry Gunung Nago, kadar aspal 5% hingga 6,5% menunjukkan nilai VFA dalam rentang 65%–75%, namun pada kadar aspal 7%, nilai VFA mencapai 90,29%, melebihi batas maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal 7% terjadi pengisian berlebihan pada rongga oleh aspal, yang berpotensi menurunkan stabilitas campuran dan meningkatkan resiko bleeding.

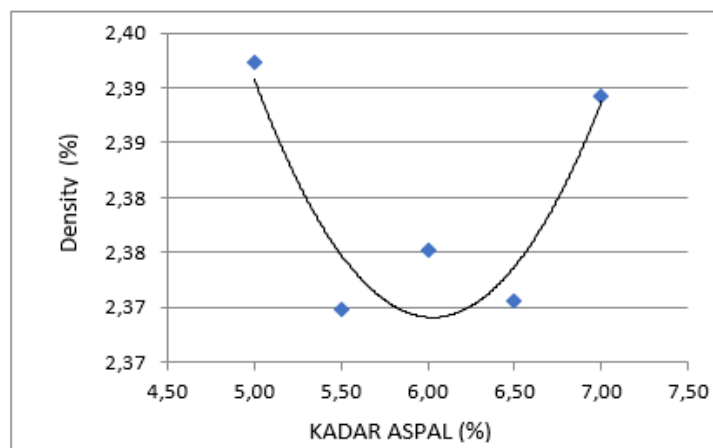
f. Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan kepadatan suatu campuran setelah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran dengan memiliki kepadatan yang rendah. Campuran akan memiliki nilai *density* tinggi apabila memakai batuan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar butir agregat (VMA) yang rendah. Nilai *density* juga meningkat jika energi pemadatan tinggi, serta pada suhu pemadatan yang tepat. Meningkatnya persentase pemakaian kadar aspal juga akan

meningkatkan kerapatan campuran, hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang semakin tinggi aka menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga sehingga campuran lebih padat.



Gambar 11. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Density (Quarry Atokan)

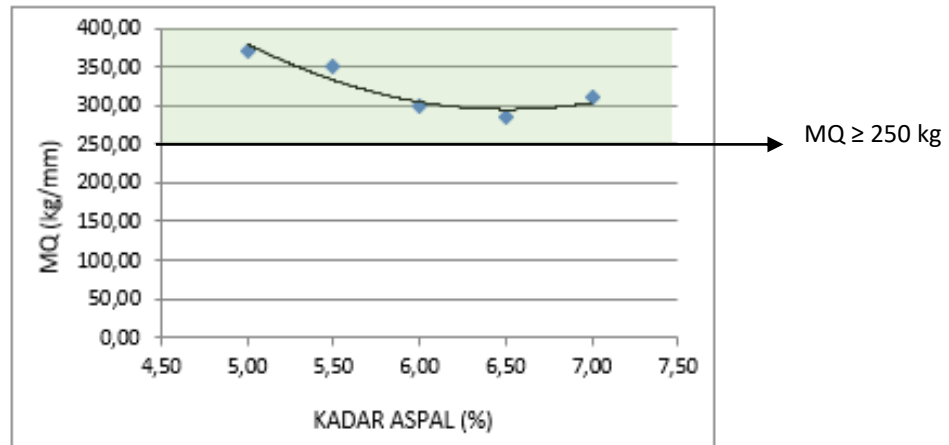


Gambar 12. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Density (Quarry Gunung Nago)

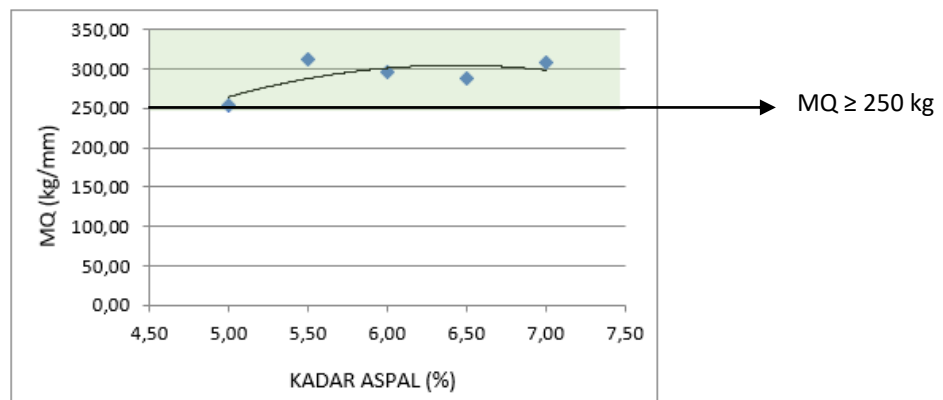
Dari **Gambar 11** dan **Gambar 12**, dapat dilihat bahwa nilai density dari kedua quarry relatif stabil di seluruh kadar aspal. Quarry Gunung Nago cenderung memiliki nilai density sedikit lebih tinggi dibandingkan Quarry Sungai Atokan. Density yang lebih besar menunjukkan kerapatan campuran yang baik, yang berkaitan dengan daya tahan terhadap beban lalu lintas. Tidak terdapat penyimpangan density yang signifikan yang bisa mengindikasikan ketidakstabilan campuran.

g. Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Nilai MQ menunjukkan kemampuan fleksibel campuran dan tingkat kekakuan. Semakin besar nilai MQ berarti campuran beraspal panas semakin kaku, dan sebaliknya semakin kecil nilai MQ berarti campuran aspal semakin lentur. Factor yang mempengaruhi nilai MQ adalah stabilitas, flow, gradasi agregat, data lekat (penyerapan agregat), kadar aspal, jenis aspal, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan.



Gambar 13. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ (Quarry Atokan)

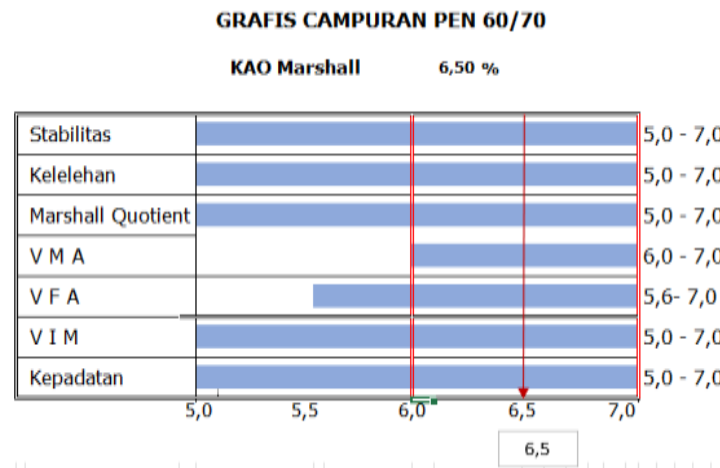


Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ (Quarry Gunung Nago)

Pada **Gambar 13** dan **Gambar 14**, nilai Marshall Quotient (MQ) untuk kedua quarry terlihat memenuhi spesifikasi minimum ≥ 250 kg/mm. Nilai MQ menggambarkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran. Nilai MQ Quarry Sungai Atokan sedikit lebih tinggi dibandingkan Quarry Gunung Nago, menunjukkan kekuatan yang baik terhadap deformasi. Nilai MQ yang memenuhi syarat ini menunjukkan bahwa campuran dapat menahan deformasi plastis dengan baik di bawah beban.

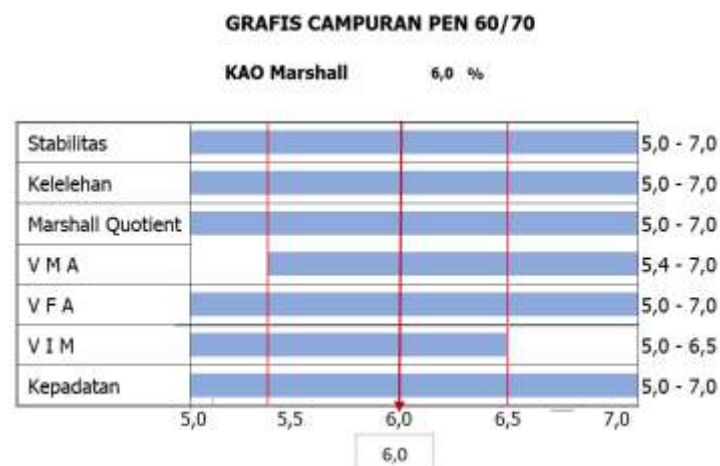
Kadar Aspal Optimum Hasil Nilai Rata- Rata Pengujian Parameter Marshall

Kadar aspal optimum adalah rentang kadar aspal yang masing-masing dari parameter yang memenuhi persyaratan marshall. Kadar aspal optimum yang dicapai untuk memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan untuk spesifikasi Bina Marga yaitu menyangkut stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, MQ dan density. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19** dibawah ini:



Gambar 15. Kadar Aspal Optimum (Quarry Atokan)

Berdasarkan **Gambar 15** maka diperoleh kadar aspal optimum yang didapatkan dari parameter marshall nilai rata-rata penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal optimum pada *Quarry* Sungai Atokan adalah 6,5%, yang berpedoman kepada batas minimum dan batas maksimum spesifikasi Bina Marga 2018.



Gambar 16. Kadar Aspal (Quarry Gunung Nago)

Berdasarkan **Gambar 16** maka diperoleh kadar aspal optimum yang didapatkan dari parameter *marshall* nilai rata-rata penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal optimum pada *quarry* Gunung Nago adalah 6,0 % yang berpedoman kepada batas minimum dan batas maksimum spesifikasi Bina Marga 2018.

4. KESIMPULAN

Perbandingan agregat dari dua sumber, yakni Quarry Sungai Atokan dan Quarry Gunung Nago, menunjukkan karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda. Agregat dari Quarry Sungai Atokan memiliki stabilitas maksimum dan nilai MQ yang lebih tinggi, mencerminkan campuran yang lebih kaku dan tahan terhadap deformasi. Hal ini didukung oleh distribusi agregat yang lebih seragam, yang menghasilkan ikatan aspal-agregat yang kuat. Sebaliknya, agregat dari Quarry Gunung Nago menunjukkan sifat yang lebih plastis pada kadar aspal tinggi, ditandai dengan penurunan VIM dan peningkatan VFA yang signifikan. Distribusi agregat yang kurang optimal di quarry ini

menyebabkan meningkatnya flow dan menurunnya MQ pada kadar aspal tinggi, yang berdampak pada lemahnya ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas.

Nilai kadar aspal optimum yang diperoleh dari rata-rata seluruh parameter Marshall adalah 6,5% untuk Quarry Sungai Atokan dan 6,0% untuk Quarry Gunung Nago. Temuan ini menunjukkan pentingnya pengendalian kadar aspal dan pemilihan agregat yang tepat untuk menghasilkan campuran yang stabil, tahan lama, dan sesuai dengan spesifikasi teknis dalam konstruksi perkerasan jalan

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmedzade, P., Fainleib, A., Günay, T., & Aksogan, O. (2008). *Evaluasi Marshall Quotient pada campuran aspal modifikasi*.
- Amal. (2012). *Aspal sebagai bahan pengikat dalam konstruksi perkerasan jalan*.
- Anwar Efendy. (2019). *Analisis perbandingan kadar aspal optimum (KAO) untuk perbedaan gradasi (BBA, FAA, dan BM)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *SNI 06-2489-1991: Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi lapisan aspal beton (laston)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Brown, E. R., Kandhal, P. S., & Zhang, J. (2009). *Performance-based Tests for Asphalt Mixtures*. National Center for Asphalt Technology (NCAT), Auburn University.
- Gunawan, A. H. (2020). *Pengujian Marshall untuk Menentukan Stabilitas dan Flow Campuran Aspal*. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Nusantara.
- Kosasih, A. (2015). Analisis Stabilitas dan Flow Campuran Aspal AC-WC dengan Gradasi yang Berbeda. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 17(1), 22-28
- Lusyana, Mukhlis, Enita Suardi, Rahmadini Fitri, & Dessy Chintya Sagita. (2022). *Perbandingan karakteristik campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) menggunakan aspal PEN 60/70 dan aspal PG 76*
- Mega Indah Giroth, Theo K. Sendow, & Steve Ch. N. Palenewen. (2019). *Perbandingan kriteria Marshall pada campuran aspal panas (AC-WC) yang menggunakan Asbuton Modifikasi (Retona Blend) dengan Aspal penetrasi 60/70 (studi kasus: penggunaan material agregat dari kema Sulawesi Utara)*.
- Mohammad Aris, Dwi Guntoro Sukowati, & Wilman Pandapotan Sitorus. (2020). *Analisa perbandingan nilai uji Marshall pada lapis aspal beton (Laston) dengan menggunakan material PT. Pro Intertech Indonesia dengan material batu kapur*.
- Naela A., Imam H. P., & Nuryani T. (2019). *Analisis perbandingan material agregat terhadap karakteristik campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
- Nofrianto, H. (2013). *Perencanaan perkerasan jalan raya*. Edisi I. Yogyakarta: Andi
- Prastanto, H. (2014). *Penggunaan polimer sintesis untuk meningkatkan mutu aspal*.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., & Ramadhan, R. (2015). *Studi penambahan karet alam SIR 20 terdepolimerisasi pada aspal polimer*.
- Pusjatan. (2019). *Campuran aspal dan agregat pada konstruksi jalan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
- Rahayu, S., & Wijaya, A. (2022). Konsep dasar penelitian: Tinjauan teoritis dan praktis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan dan Pembelajaran*, 6(1), 45-56.
- Rahman, M. F. (2020). *Analisis Sifat Mekanik Campuran Aspal dengan Metode Marshall*. Yogyakarta: Pustaka Konstruksi.

- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y., & Kennedy, T. W. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation.
- Setiawan, B. (2010). *Pengaruh Karakteristik Agregat terhadap Stabilitas Campuran Aspal Menggunakan Metode Marshall*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sjahruddin, H., Wahid, F., & Bahar, H. (2013). Pengaruh Variasi Gradasi Agregat terhadap Karakteristik Campuran AC-WC. *Jurnal Transportasi*, 13(2), 79-86.
- SNI 6749:2008. *Spesifikasi aspal polimer: Plastomer dan elastomer*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, S. (2016). *Aspal dan peranannya dalam konstruksi jalan raya*.
- Tayfur, S. (2007). *Kekuatan dan kestabilan campuran aspal: Sebuah kajian Marshall Quotient*.