



PENGARUH SUBSTITUSI TANAH DIATOME SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK BETON ASPAL

Hamzani

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe,
Indonesia

Email: hamzani@unimal.ac.id

Abstrak — Sarana transportasi darat jalan memegang peranan penting dalam kehidupan masyarakat terutama dalam melayani jasa angkutan barang dan jasa lainnya. Akibat beban angkut yang berlebihan, kerusakan jalan sebelum usia layan menyebabkan berkurangnya kinerja lapisan perkerasan. Perbaikan kerusakan akibat tegangan vertikal dan horizontal pada jalan dapat dilakukan dengan memodifikasi campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik beton aspal AC-WC dengan substitusi filler dengan tanah diatome menggunakan gradasi terbuka terhadap parameter Marshall. Tahap awal penelitian ini adalah mengkaji sifat fisik agregat dan aspal, menentukan gradasi campuran dan Kadar Aspal Optimum (KAO). Berdasarkan nilai KAO, campuran spesimen uji dirancang dengan variasi tanah diatome 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Parameter Marshall dievaluasi dan dibandingkan dengan Spesifikasi Jalan Raya 2010 revisi-3. Hasil karakteristik campuran beton aspal dengan substitusi tanah diatome dengan gradasi terbuka memenuhi spesifikasi yang digunakan. Semua parameter Marshall diperoleh dengan kinerja yang cukup baik dan dapat direkomendasikan bahwa material tanah diatome dapat dipergunakan sebagai material filler dengan kinerja paling maksimum diperoleh pada variasi tanah diatome 8%.

Kata Kunci: *AC-WC, tanah diatome, Marshall karakteristik*

1. PENDAHULUAN

Tingginya volume lalu lintas dan perubahan suhu yang ekstrim dapat mempercepat kerusakan perkerasan jalan. Kerusakan yang sering terjadi diawali dengan terjadinya retak-ratak pada lapisan permukaan kemudian merembes ke lapisan pondasi. Kerusakan tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya kualitas material, gradasi agregat, bahan pengikat aspal dan pengaruh lainnya seperti iklim serta faktor pelaksanaan. Pengikat aspal harus mampu menahan tekanan termal akibat perubahan suhu, penyusutan perkerasan akibat proses pemuatan dan pembongkaran berulang serta menahan deformasi permanen akibat lalu lintas berat (Faheem & Wen, 2014). Penyusutan yang disebabkan oleh perubahan iklim sering menyebabkan terjadinya tegangan tarik dalam campuran yang menyebabkan bergesernya

butiran agregat (Hamzani, dkk, 2021). Kondisi ini peranan aspal harus kuat menahan gaya tarik dalam campuran lapisan perkerasan sehingga memerlukan pemikiran serius bagi peneliti karena berdampak kepada efisiensi biaya pelaksanaan dan pemeliharaan jalan (Anonim, 2001). Selain hal tersebut besarnya beban dari kendaraan yang melewati permukaan perkerasan jalan dan rendahnya kualitas material maupun kekakuannya dari campuran beraspal sehingga tidak mampu mengeliminasi tegangan vertikal dan horizontal yang terjadi pada pondasi sampai ketanah dasar. Kondisi tersebut mengakibatkan tegangan yang terjadi dalam campuran aspal dapat menimbulkan deformasi pada lapisan perkerasan AC-WC.

Salah satu cara untuk memperbaiki kerusakan akibat tegangan vertikal dan horizontal pada jalan adalah dengan memodifikasi material pembentuk campuran beraspal. Penambahan material baru untuk dalam meningkatkan kekakuan aspal dan kerentanan campuran akibat pengaruh suhu yang bervariasi. Material baru yang dapat digunakan sebagai bahan tambah banyak jenisnya mulai dari material yang memiliki kandungan silika yang tinggi maupun tingkat kekerasan yang tinggi maupun material lainnya yang mampu meningkatkan kinerja campuran. Penambahan maupun substitusi material baru dalam campuran dengan tujuan dapat meningkatkan kekakuan campuran aspal serta meningkatkan ketahanan terhadap *rutting* dari suhu dan cuaca yang panas (Onyango dkk., 2015).

Potensi material baru cukup besar tersedia di daerah kita khususnya pulau Sumatera baik sebagai bahan aditif / substitusi agregat maupun aspal cukup menjanjikan untuk dilakukan pengembangan. Selain biaya yang murah penggunaan material baru ini juga dapat meningkatkan pemanfaatan sumber daya alam yang dapat meningkatnya penggunaan sumber daya mineral dalam mempengaruhi pendapatan asli daerah. Terdapat beberapa persyaratan suatu kegiatan yang dapat berpotensi menjadi alternatif bahan tambah maupun daur ulang, antara lain kegiatan tersebut harus menyerap bahan baku dalam jumlah besar, melalui proses seminimal mungkin untuk menghemat biaya dan produknya harus aman bagi lingkungan (Wong dkk., 2017).

Darus (2020), menyebutkan peluang besar masih terbuka untuk meningkatkan potensi penggunaan material baru maupun daur ulang limbah di Indonesia. Penggunaan tanah diatome sebagai bahan tambah dikarenakan material tersebut sebagai klas alami bahan pozzolanic (Anonim, 2019) dan juga sebagai salah satu bahan penyemenan dengan silika yang

relatif tinggi (Hasan M, dkk, 2020). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menggantikan semen dengan tanah diatome ini dalam campuran beton berkekuatan tinggi (beton dengan kekuatan tekan antara 45 dan 90 MPa (Hasan M, dkk, 2020) tetapi belum ditemukan pada penggunaan dalam campuran beton aspal. Penggunaan material ziolit sebagai filler dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran AC-BC (Saleh dan Suparma, 2015). Campuran aspal yang dimodifikasi dengan tanah diatome memiliki potensi yang cukup baik dalam mengurangi penyusutan dikarenakan material tanah diatome memiliki daya tahan yang cukup baik, disamping itu memiliki penyerapan dan permeabilitas yang rendah (Shaheen E dan Shrive N, 2006, Rahmawati, 2017).

Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan. Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus,

sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*), sedangkan gradasi terbuka adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Gradasi tersebut sangat penting untuk diseleksi karena perbedaan gradasi baik menjadi gradasi senjang dapat mempengaruhi kebutuhan komposisi agregat halus maupun kinerja campuran (Nadiah, dkk, 2014). Fungsi agregat halus untuk menutupi rongga antar agregat besar sehingga berubah tingkat kepadatan campuran beraspal.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik Marshall pada campuran aspal beton AC-WC yang agregat material halus yaitu filler dimodifikasi dengan substitusi material tanah diatome. Selain itu untuk mengetahui nilai persentase optimum substitusi tanah diatome sebagai filler pada aspal AC-WC dengan gradasi rapat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Provinsi Aceh. Bahan material yang digunakan berupa agregat yang berasal dari *quarry* lokal yaitu

Sawang Kabupaten Aceh Utara, serta aspal yang digunakan berupa aspal keras dengan penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina. Metode pengujian mengikuti prosedur pengujian Marshall, Bina Marga, AASHTO dan ASTM (Anonim 2018, 2001, 2019). Tahapan dalam penelitian ini antara lain pemeriksaan sifat-sifat fisis material, perancangan campuran aspal, pembuatan benda uji dan pengujian parameter Marshall.

Pengujian sifat-sifat fisis aspal meliputi pengujian berat jenis, penetrasi, daktilitas dan titik lembek. Sementara pemeriksaan sifat propertis agregat meliputi pengujian berat jenis, penyerapan terhadap air, indeks kepipihan dan kelonjongan agregat, abrasi serta kelekatan agregat terhadap aspal. Hasil dari pemeriksaan sifat fisis agregat lalu dibandingkan dengan persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018).

Dalam melakukan perencanaan aspal, terlebih dahulu dilakukan pengujian analisa saringan untuk memperoleh gradasi agregat rencana yang terseleksi sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 tahun 2014 untuk campuran laston lapis aus (AC-WC). Lalu, kadar aspal ditentukan berdasarkan pada perkiraan awal yang merupakan kadar aspal tengah ideal (Pb). Pb dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + C \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, CA : persen agregat kasar tertahan saringan No. 8, FA : persen agregathalus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200, dan *filler* : agregat minimal 6,5% lolos saringan No. 200. Kadar aspal tengah diperlukan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran.

Berdasarkan KAO tersebut lalu dibuat rancangan benda uji yang disubstitusi tanah diatome dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 10% yang telah disiapkan sebelumnya sesuai spesifikasi material filler yaitu dengan ukuran lolos saringan 200. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi sesuai rancangan gradasi yang digunakan yaitu gradasi rapat. Selanjutnya, tiap benda uji dilakukan pengujian terhadap parameter Marshall, yang terdiri dari nilai stabilitas, *density*, VMA, VIM, VFA, flow, dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil yang diperoleh pada tahap kedua dianalisis untuk setiap parameter Marshall dengan berpatoakan pada benda uji kontrol yaitu specimen dengan variasi tanah diatome 0%. Untuk

memudahkan analisis dibuat grafik hubungan antara variasi tanah diatome (%) dengan masing-masing nilai parameter Marshall.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT FISIS

Pemeriksaan sifat-sifat agregat dan aspal disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil yang diperoleh memenuhi persyaratan yang ditentukan, sehingga material uji dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya.

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

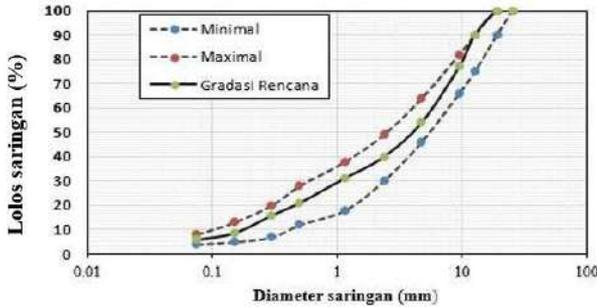
No.	Sifat Fisis	Hasil	Spesifikasi	Satndar
1.	Berat Jenis	2,785	Min. 2,5	SNI 03-1969-1991
2.	Penyerapan terhadap air (%)	1,120	Maks. 3	SNI 03-1969-1991
3.	Indeks Kepipihan (%)	9,91	Maks.10%	ASTM D-4791
4.	Indeks Kelonjongan (%)	9,84	Maks.10%	ASTM D-4791
5.	Abrasi (%)	35,21	Maks.40%	SNI 2417-2008
6.	Kelekatan Agregat Thd. Aspal (%)	98	Min. 95%	SNI 2439-2011

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70

No.	Sifat Fisis	Hasil	Spesifikasi	Satndar
1.	Berat Jenis	1,123	≥ 1	SNI 2441-12011
2.	Penetrasi (0,1 mm)	70	60 – 70	SNI 06 – 2456-1991
3.	Daktilitas (cm)	>101,3	≥ 100	SNI 2432-2011
4.	Titik lembek (°C)	51,25	≥ 48	SNI 2434-2011

Hasil pemeriksaan gradasi

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi rapat dan terbuka berdasarkan nilai tengah dari spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 tahun 2014 untuk campuran laston lapis aus (AC-WC). Selanjutnya dari gradasi rencana tersebut dihitung komposisi campuran dan proporsi kadar aspal penetrasi 60/70. Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil uji agregat kasar dan halus gradasi rapat dan terbuka.

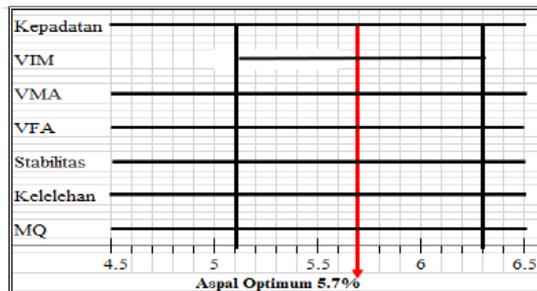


Gambar 1. Hasil gradasi agregat kasar dan agregat halus

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO dilakukan untuk mengetahui persentasi kadar aspal yang digunakan untuk membuat benda uji. Pengujian KAO dilakukan berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan gradasi rapat dan terbuka menggunakan variasi kadar aspal 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5%.

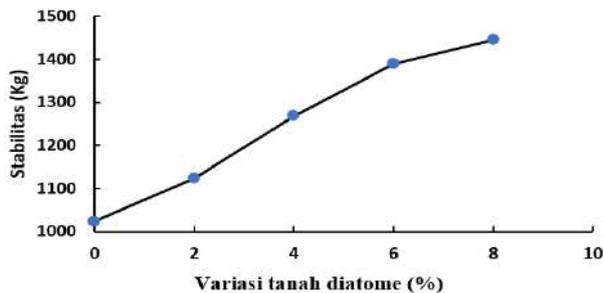
Grafik hubungan antara variasi kadar aspal beton lapis aus AC-WC dan evaluasi parameter Marshall diperlihatkan pada Gambar 3 dan 4. Nilai KAO yang memenuhi persyaratan parameter Marshall untuk campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) pada gradasi rapat yaitu sebesar 5,70 % seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil penentuan kadar aspal optimum agregat gradasi rapat

Karakteristik Marshall

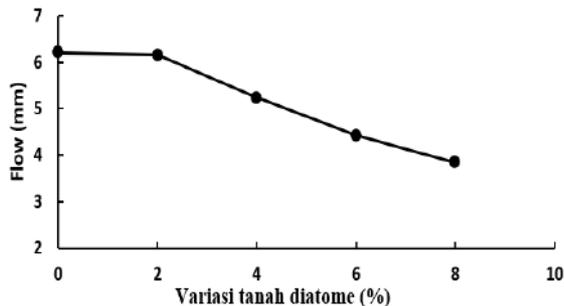
Kinerja aspal beton lapis aus (AC-WC) diperiksa menggunakan alat uji Marshall. Alat tersebut menunjukkan karakteristik campuran yang meliputi parameter- parameter Marshall, antara lain stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (hasil bagi Marshall), rongga terisi aspal (VFA), rongga antar agregat (VMA), rongga udara (VIM) dan densitas. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang didapat berdasarkan penggunaan gradasi agregat tersebut memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Meningkatnya nilai stabilitas campuran pada rancangan penelitian ini kinerja campuran berupa ketahanan terhadap beban menjadi lebih meningkat hal ini dapat dijelaskan bahwa peningkatan nilai stabilitas sangat signifikan sehingga campuran dengan nilai stabilitas tinggi cenderung nilai kekakuannya tinggi dan setelah melewati batas maksimum substitusi tanah diatome sebesar 6% nilai stabilitas mengalami peningkatan yang signifikan. Nilai stabilitas yang meningkat dibandingkan benda uji kontrol menunjukkan bahwa benda uji yang dimodifikasi tanah diatome memiliki kekuatan yang lebih besar. Namun, pada modifikasi filler campuran aspal beton menggunakan diatome 8% sebagai material substitusi tanah diatome dapat meningkatkan nilai stabilitas sampai 40% dibandingkan benda uji kontrol, sehingga penggunaan material tanah diatome sebagai filler sangat bagus untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Peningkatan nilai stabilitas akibat modifikasi filler dengan material diatome untuk jenis gradasi rapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan nilai stabilitas dan tanah diatome

Meningkatnya nilai stabilitas campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) akibat substitusi tanah diatome pada material filler dikarenakan peranan filler sebagai bahan pengisi berfungsi sangat baik dalam mengisi rongga antar butir agregat sehingga *interlocking* menjadi lebih meningkat akibat material tanah diatome memiliki kadar silika yang relatif tinggi.

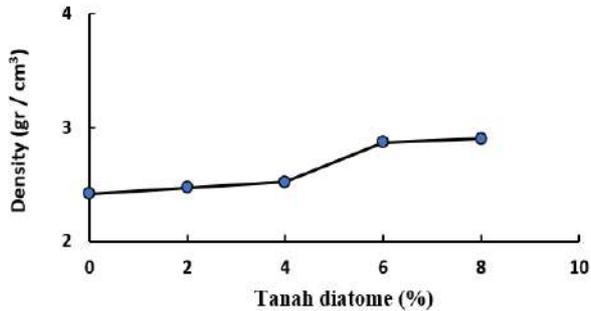
Adapun nilai flow yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan tanah diatome sebagai substitusi filler dapat menurunkan nilai flow campuran lapis aus (AC-WC), hal ini dikarenakan pengaruh tanah diatome menjadikan kepadatan campuran meningkat dan menjadikan aspal yang mengisi rongga relatif berkurang sehingga campuran lebih plastis. Hubungan antara nilai flow dengan variasi tanah diatome campuran beton aspal lapis aus AC-WC diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan nilai flow dan tanah diatome

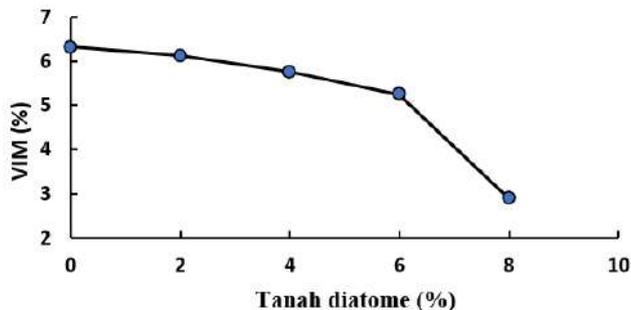
Campuran aspal Ac-Bc dengan *flow* yang rendah menghasilkan elastisitas yang tinggi namun akibat volume lalu lintas yang tinggi dapat mengalami deformasi dan kurang cocok untuk jalan lalulintas berat.

Demikian juga nilai kepadatan (*density*) campuran laston lapis aus (AC-WC) p engaruh akibat penambahan tanah diatome sebagai substitusi filler dalam campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) mengalami kenaikan namun tidak signifikan. Pengaruh tanah diatome dalam material filler pada campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 mm terhadap nilai kepadatan campuran diperlihatkan pada Gambar 5.

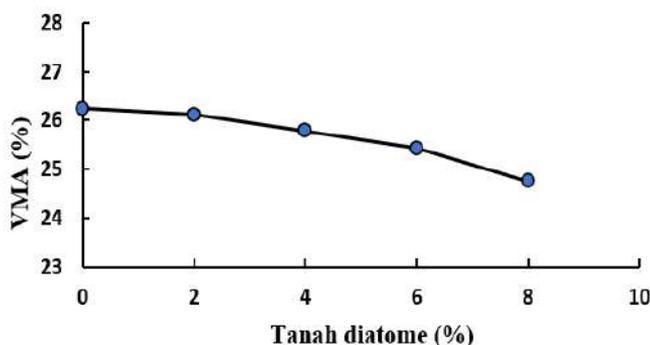


Gambar 5. Hubungan kepadatan dengan tanah diatome

Nilai kepadatan (*density*) campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) akibat substitusi tanah diatome sebagai material filler menjadi meningkat dikarenakan material tanah diatome dengan kandungan silika relatif tinggi menjadikan ikatan material halus sebagai pengisi diantara agregat kasar menjadi lebih kuat. Nilai silika yang berfungsi sebagai material sementasi antar butir agregat halus dan agregat kasar yang membuat satu kesatuan yang dapat mempengaruhi meningkatnya nilai kepadatan campuran. Adapun nilai VIM dan VMA pada campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan substitusi tanah diatome pada material filler dalam campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) mengalami penurunan, sampai pada variasi 4% tanah diatome tidak lagi memenuhi spesifikasi. Menurunnya nilai VIM dan VMA dalam campuran akibat penambahan tanah diatome dalam campuran beton aspal menyebabkan kepadatan campuran lebih tinggi sehingga berpengaruh terhadap keawetan dan fleksibilitas campuran. Hubungan antara nilai VIM dan VMA dengan variasi tanah diatome pada material filler campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.



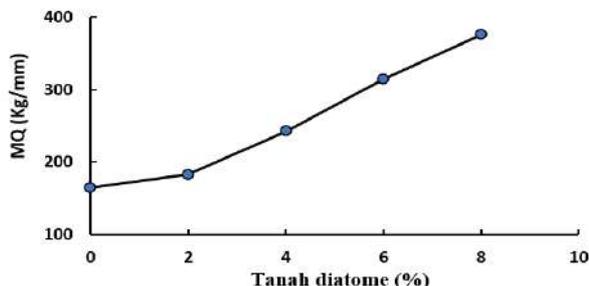
Gambar 6. Hubungan nilai VIM dengan tanah diatome



Gambar 7. Hubungan nilai VMA dengan tanah diatome

Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7 bahwa substitusi tanah diatome sebagai material filler menjadikan kadar rongga dalam agregat berkurang sehingga tingkat kepadatan campuran beraspal pun ikut mengalami penurunan. Kondisi ini menjadi perkerasan beton aspal sebagai perkerasan yang menyebabkan nilai elastisitas menjadi turun, dimana nilai elastisitas diperoleh dari kandungan aspal yang mengisi rongga membentuk mastik aspal. Mastik aspal berfungsi sebagai pengikat antar agregat dengan baik apabila komposisi rongga terisi sempurna dengan kadar rongga yang tersedia cukup sehingga ketebalan mastik aspal yang berpengaruh terhadap kegetasan suatu campuran akibat pengaruh suhu matahari. Berdasarkan kondisi tersebut bahwa material tanah diatome yang memiliki kandungan silika yang tinggi perlu diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif terhadap penggunaan sebagai material baru dalam perkerasan jalan.

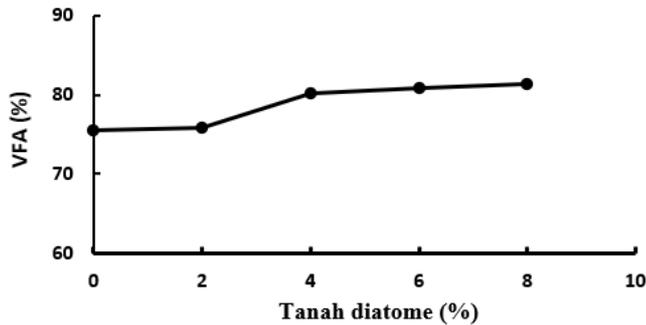
Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa semakin besar variasi tanah diatome nilai MQ semakin meningkat. Nilai MQ merupakan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran aspal. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* maka campuran cenderung memiliki fleksibilitas rendah (kaku). Pada variasi 6% tanah diatome nilai MQ sudah memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu di atas 300 kg/mm. Nilai MQ yang diperoleh akibat substitusi tanah diatome sebagai material filler diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan *Marshall Quotient* dengan variasi tanah diatome

Berdasarkan dari hasil yang diperoleh seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10 dapat dinyatakan bahwa substitusi tanah diatome sebagai material filler dalam campuran laston lapis aus (AC-WC) dapat dinyatakan meningkatkan nilai MQ yang sangat signifikan. Dengan meningkatnya nilai MQ bahwa campuran laston lapis aus (AC-WC) menjadi tinggi nilai kekakuan sehingga kemampuan menahan beban menjadi meningkat pula. Dari kondisi tersebut dengan pengubah material filler dalam penelitian ini berada dalam batas yang direkomendasikan yang dapat diterima.

Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa substitusi tanah diatome sebagai material filler dalam aspal campuran laston lapis aus (AC-WC) dapat meningkatkan nilai VFA. Peningkatan nilai VFA pada campuran laston lapis aus 9 (AC-WC) sangat signifikan terjadi antara variasi 2% dan 4% yang mengalami peningkatan sebesar 5,80%, namun setelah variasi 4% mulai melambat tetapi terus meningkat. Nilai VFA berbanding terbalik dengan nilai VIM dan VMA. Hubungan nilai VFA dengan variasi tanah diatome dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan nilai VFA dengan variasi tanah diatome

Semakin besar nilai VFA semakin banyak rongga dalam campuran yang dapat terisi oleh aspal, sehingga campuran beton aspal semakin awet. Begitu jugasebaliknya, jika nilai VFA semakin kecil menunjukkan bahwa aspal dapat mengisi rongga lebih sedikit dan aspal yang menyelimuti butiran partikel agregat menjadi tipis. Hal ini mengakibatkan campuran beton aspal tidak awet dan mudah terjadi pelepasan butir agregat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan di atas terhadap karakteristik Marshall campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) dapat disimpulkan bahwa, substitusi tanah diatome sebagai material filler direkomendasikan dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Dalam penyelidikan ini menunjukkan bahwa penggunaan pengubah filler memberikan hasil yang lebih baik dan memuaskan dari pada penggunaan abu batu sebagai benda uji kontrol.

Berdasarkan hasil eksperimen penyelidikan ini, pengaruh tanah diatome sebagai material modifikasi filler terhadap perilaku campuran aspal panas cukup baik dari pertimbangan sifat uji Marshall dengan substitusi sampai 8% dan rekomendasi pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk modifikasi pada material agregat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-19, (2019), Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. West Conshohocken (PA), USA: ASTM.
- Asphalt Institute, (2001), Construction of Hot Mix Asphalt Pavement, MS-22, Six Edition, Lexington, Kentucky, USA.
- Darus, N., Maya T, Tirawaty S., Muchtazar, (2020) "An Overview of Plastic Waste Recycling in the Urban Areas of Java Island in Indonesia", *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 3(2), pp. 402–415. doi: 10.7454/jessd.v3i2.1073.
- Faheem and H. Wen, "Effect of Mineral Filler on Damage Resistance Characteristics of Asphalt Binders," *Assoc Paving Techn-Proc of The Tech Sessions January 2008*, no. November, 2014
- Hasan M, Saidi T, Muyasir A, Alkhaly YR, Muslimsyah M. (2020), Characteristic of calcined diatomaceous earth from Aceh Besar District - Indonesia as cementitious binder. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* ;933:012008
- Hamzani, Munirwansyah, S. Sugiarto and M. Hasan, (2021), "Tegangan dan regangan dinamis perkerasan semi fleksibel dengan modifikasi reologi aspal dan substitusi ziolit pada semen mortar, *Teras jurnal* vol. 11 (1), 103, doi, [10.29103/tj.v11i1.405](https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.405).
- Hasan M, Muyasir A, Saidi T, Husaini, Azzahra R. Properties of high strength concrete with calcined diatomaceous earth as cement replacement under compression. *Defect Diffus Forum.* 2020;402:7–13
- Onyango, F. et al. (2015) 'Effect of Rubber Tyre and Plastic Wastes Use in Asphalt Concrete Pavement', *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 9(11), pp. 1327–1331
- Rahmawati, A. (2017) 'Perbandingan Penggunaan Polypropilene (Pp) Dan High Density Polyethylene (Hdpe) Pada Campuran

Laston_Wc', Media Teknik Sipil, vol. 15 (1),
doi: [10.22219/jmts.v15i1.4414](https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4414).

Shaheen E, Shrive N., (2006), Optimization of mechanical properties and durability of reactive powder concrete. *ACI Mater*; 103:444-51.

Saleh A dan Suparma L. B., (2015), Perancangan Laboratorium Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Dengan Menggunakan Aspal Pen 60 / 70 Dan Zeolit Alam Sebagai Filler, Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru, PP 978-979